

الفحوصات التشخيصية للمحولات الكهربائية

المغمورة بالزيت

م. محمد صبحي عساف



غير مخصص للبيع

2023

مراجعة

المهندس صالح البطاط

الفحوصات التشخيصية للمحولات الكهربائية المغمورة بالزيت

إعداد
المهندس محمد صبحي عساف

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2022/12/6235)

621.314

عساف، محمد صبحي عبدالكريم
الفحوصات التشخيصية للمحولات الكهربائية المغمورة بالزيت / محمد
صبحي عبدالكريم عساف .- الزرقاء: المؤلف، 2022

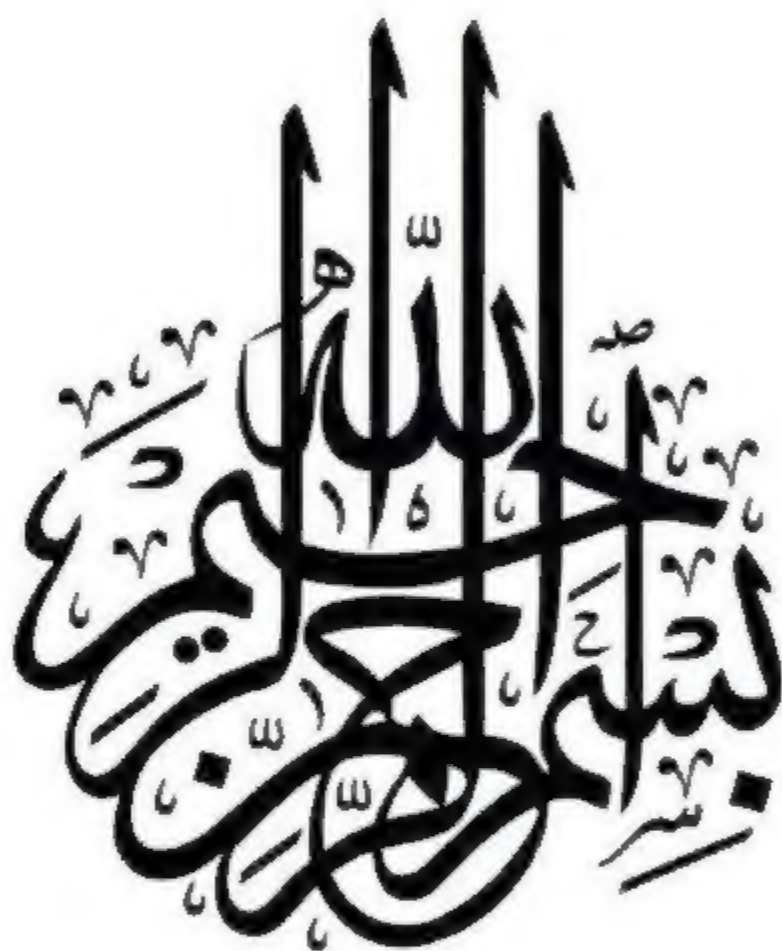
() ص .

ر. ا. : 2022/12/6235.

الواصفات : /المحولات الكهربائية//العزل الكهربائي//الاختبار
الكهربائي//الهندسة الكهربائية/

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعتبر هذا المصنف
عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى.

(ربمك) 8-566-00-9923-978 ISBN



هذا الكتاب وقف لله تعالى

تمهيد

نحمد الله تعالى، ونستعينه، ونستهديه. ونصلي وتسلم على سيد المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وأصحابه أجمعين، وبعد،

شرعت في الكتابة مستعيناً بالله ومتوكلاً عليه، بعد الذي رأيت من نقص في المحتوى العربي الذي يتناول هذا النوع من العلوم، فهناك العدد اليسير من الكتب العربية التي تناولت المحولات الكهربائية من الناحية التصميمية أو التركيبية أو كعنصر من عناصر المنظومة الكهربائية؛ ككتب الدكتور محمود الجيلاني والدكتورة كاسيليا محمد وغيرهم. أما هذا الكتاب فقد عُني بشرح الفحوصات التشخيصية لمحولات القوى الكهربائية المغمورة بالزيت وأكد لا أجد كتاباً عربياً يشير لهذا الموضوع بشرحه المُفصل، حيث تم تناول هذا الموضوع من الناحية النظرية والعملية استناداً إلى أشهر المراجع والمعايير الصادرة عن المعاهد والمنظمات العالمية، كسعيد مهندس الكهرباء والإلكترونيات **IEEE** واللجنة الكهروتقنية الدولية **IEC** والمجلس الدولي للأنظمة الكهربائية الكيعة **CIGRE**، بالإضافة إلى ما وفقني الله لنيله من الخبرات العملية في سنوات عملي كمهندس صيانة كهربائية في كبرى محطات توليد الطاقة الكهربائية في الأردن؛ كمحطة السمرات لتوليد الكهرباء ومحطة العطارات لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الحرق المباشر للصخر الزيتي. فما وجدتم من سبق في هذا الكتاب فأعيتوني على تصويبه بمراسلتي على بريدي الإلكتروني، فإن أصبت في كتابتي فمن الله وإن أخطأت فمن نفسي والشيطان.

تمت الكتابة باللغة العربية لإثراء المحتوى العربي ولتيسير الفهم على مهندسي وفنيي الكهرباء مع الحفاظ على المصطلحات والمعادلات جميعها باللغة الإنجليزية.

ولا أملك لزوجتي دانية وأبنائي أويس وراكان إلا أن أدعوا لهم بأن يتقبل لهم الله أعمالهم لقاء وقتهم وحقوقهم التي نقصت في ثنانيا إعداد هذا الكتاب عن رضى منهم وحب. سائلاً المولى عز وجل أن ينفع بهم وبهذا الكتاب ويقبله خالصاً لوجهه.

إلى أبي وأمي.... عليهما رحمة الله

المهندس محمد صبيحي عساف

المقدمة

تُعد المحولات الكهربائية من أهم أجزاء المنظومة الكهربائية لما لها من دور كبير في زيادة موثوقية الشبكة الكهربائية وديمومة سريان التيار الكهربائي، فلو نظرنا بصورة مُعمقة للمنظومة الكهربائية لوجدنا المحولات الكهربائية تلعب دوراً أساسياً في ربط عناصر هذه المنظومة من محطات توليد ومحطات تحويل ومترين كلاً بمستوى فولتية مناسب له، بل وأي فشل في هذه المحولات سيؤدي لفشل المنظومة ككل في بعض الحالات. وبناءً على ما سبق ونظراً للتكلفة المرتفعة لمحولات القدرة كان لزاماً علينا أن نولي هذه المُعدّة الإهتمام الكامل وهو من هنا في هذا الكتاب، فهناك من الكتب ما عُني بشرح المحول من الناحية التصميمية ومنها ما عُني بالنواحي التشغيلية ومنها ما عُني بصيانة هذه المحولات. وهذا الكتاب يندرج تحت الكتب التي تُعنى بالصيانة الكهربائية للمحولات، وتستقيم عملية الصيانة لا بُد من تحديد الأعطال بشكل دقيق لتتم الصيانة بشكل فعال وبأسرع وقت ممكن للتقليل من زمن التوقفات غير المبرمجة للمنظومة الكهربائية. حيث تناول هذا الكتاب الفحوصات التشخيصية اللازمة للكشف عن الأعطال في محولات القوى الكهربائية المغمورة بالزيت.

تم تقسيم الكتاب لثمانية فصول، حيث قُمت بتضمين سبعة فحوصات تشخيصية لمحولات القوى الكهربائية في هذا الكتاب وهي من أهم الفحوصات وأكثرها إنتشاراً على أجد مستقبلاً تُتسعا من الوقت لتناول باقي الفحوصات في كتاب لاحق.

وكانت فصول الكتاب كالآتي:

- ❖ الفصل الأول : مقدمة في المحولات الكهربائية من الناحية النظرية والعملية.
- ❖ الفصل الثاني : فحص مقاومة العزل.
- ❖ الفصل الثالث : فحص مقاومة الملفات.
- ❖ الفصل الرابع : فحص نسبة لفات المحول.
- ❖ الفصل الخامس : فحص معامل التبريد/القدرة والمواسعة.
- ❖ الفصل السادس : فحص تيار التهييج.
- ❖ الفصل السابع : فحص مُفاعلة التسريب.
- ❖ الفصل الثامن : فحص تحليل الإستجابة الترددية التسحي.

ولتيسير الفهم تم التدرُّج في الشرح لهذه الفحوصات وفقاً للمحاور التالية:

- ❖ المحور الأول: مقدمة عامة حول الفحص تتضمن أهمية الجوء لهذا الفحص بشكل عام وكذلك الجزء من المحول الذي يستهدفه هذا الفحص.
- ❖ المحور الثاني: ذكر المواطن التي يتم إجراء هذا الفحص بها، إلى جانب كونه من الفحوصات التشخيصية.
- ❖ المحور الثالث: بيان الأعطال التي يتم الكشف عنها باستخدام هذا الفحص، بالإضافة إلى الدلائل التي تدفعنا لإجراء هذا الفحص على وجه الخصوص.

- ❖ **المحور الرابع:** توضيح فلسفة الفحص وذلك بالشرح المُفصّل لمبدأ عمل الفحص وطرقه وأساليبه وتوصيلاته، بالإضافة للأمور التي لا يُد من مراعاتها قبل البدء بالفحص إن وجدت.
- ❖ **المحور الخامس:** بيان خطوات الفحص بالتفصيل.
- ❖ **المحور السادس:** تصحيح القِيمة المُقاسة باستخدام المعادلات والجداول.
- ❖ **المحور السابع:** تحليل القِيمة المُقاسة بعد تصحيحها وذلك بالرجوع إلى أشهر المراجع والمعايير العالمية بالإضافة للخبرة السابقة.
- ❖ **المحور الثامن:** أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية.
- ❖ **المحور التاسع:** مُلحقات لكيفية الفحص باستخدام أجهزة الفحص المتوفرة والمنتشرة بالسوق العالمية وذلك بذكر خطوات الفحص وتوصيلاته بالجهاز، بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مُبسّط إستناداً على خبرتي بالتعامل مع هذه الأجهزة مُسبقاً. وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام أجهزة الفحص المُشار إليها في الملحقات سابقة الذكر، لا يجب الإعتماد على هذه الملحقات فقط، بل يجب قراءة الكُنُيُتات التفصيلية الخاصة بهذه الأجهزة والمُزودة بواسطة الشركة المُصنّعة لأجهزة الفحص مثل (MEGGER و METREL و FLUKE و OMICRON) جيداً وخصوصاً الخطوات التشغيلية والسلامة العامة. مع التنويه على أن حقوق جميع الصور الواردة في هذه الملحقات تعود للشركة المُصنّعة لجهاز الفحص سابقة الذكر، حيث تمت إعادة طباعة هذه الصور واستخدامها في هذا الكتاب غير المخصص للبيع.
- ❖ **المحور العاشر:** مُلحقات تضم معلومات وجداول تُفيد في توصيلة الفحص أو في تصحيح القِيمة المُقاسة.

قائمة المحتويات

الصفحة	العنوان
	تعهد
	مقدمة
15	الفصل الأول: مقدمة في المحولات
15	ما هو المحول
16	أنواع المحولات
16	مبدأ عمل المحول الكهربائي
18	مبدأ عمل المحول المثالي
22	ضوابط القدرة في المحولات الواقعية
33	الدائرة المكافئة للمحول
36	تركيب المحولات الكهربائية
37	الخزان الرئيسي
44	الجزء الفعال
44	القلب الحديدي
53	المفاصل
59	دعائم التثبيت
59	مُغَيِّر الخطوة
68	نظام العزل
75	زيت المحول
80	نظام التبريد
89	عوازل الإختراق أو الجُلْب
99	مُعدات المراقبة و الحماية الفيزيائية المساعدة
113	المُلحق (1-1) تسمية اطراف المحول وفقاً للمعايير المختلفة
114	المُلحق (1-2) مصادر الاشكال الواردة في الفصل الأول
117	الفصل الثاني: فحص مقاومة العزل
117	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
118	الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
119	فلسفة الفحص
124	أمور لا بُد من مراعاتها قبل البدء بالفحص
126	أساليب الفحص
133	توصيلة الفحص
141	خطوات الفحص

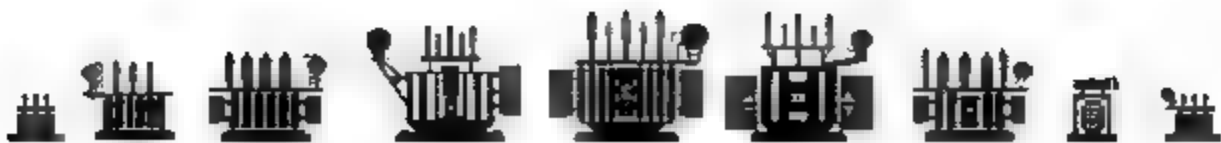
144	تصحيح القيمة المُقاسة
146	تحليل نتائج الفحص
151	العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص
154	فحوصات إضافية داعمة
155	تفريغ الملفات وإزالة ثمغنت القلب
157	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية
159	الملحق (2-1) الفحص بواسطة (MIT 1025 10kV by MEGGER)
165	الملحق (2-2) الفحص بواسطة (TeraOhmXA MI 3210 10kV by METREL)
172	الملحق (2-3) الفحص بواسطة (1555 10kV Insulation tester by FLUKE)
183	الفصل الثالث: فحص مقاومة الملفات
183	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
184	الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
186	فلسفة الفحص
195	أمور لا بُد من مراعاتها قبل البدء بالفحص
199	طُرُق الفحص
211	خطوات الفحص
214	تصحيح القيمة المُقاسة
216	تحليل نتائج الفحص
221	العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص
228	فحوصات إضافية داعمة
229	تفريغ الملفات وإزالة ثمغنت القلب الحديدي
231	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية
234	الملحق (3-1) أطراف الحقن والقياس لأسلوب (Dual windings أو HV assist)
235	الملحق (3-2) الفحص بواسطة (AVTM830280 by MEGGER)
242	الملحق (3-3) الفحص بواسطة (MTO210 by MEGGER)
250	الملحق (3-4) الفحص بواسطة (TESTRANO 600 by OMICRON)
263	الملحق (3-5) إزالة المغنطة بواسطة (TESTRANO 600 by OMICRON)
270	الفصل الرابع: فحص نسبة عدد اللفات
270	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
271	الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
271	فلسفة الفحص
279	طُرُق الفحص
282	خطوات الفحص
285	تصحيح القيمة المُقاسة
287	تحليل نتائج الفحص

289	العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص
293	فحوصات إضافية دأعمة
294	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية
296	المُلحق (4-1) الفحص بواسطة (TESTRANO 600 by OMICRON)
309	المُلحق (4-2) الفحص بواسطة (TTRU3 by MEGGER)
322	المُلحق (4-3) مجموعات التوصيل المختلفة للمحولات (By MEGGER)
334	الفصل الخامس: فحص معامل التبديد/القدرة والمواسعة
335	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
335	الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
337	فلسفة الفحص
347	طُرُق الفحص
350	أساليب الفحص
358	خطوات الفحص
362	تصحيح القيمة المُقاسة
365	تحليل نتائج الفحص
371	العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص
377	مواطن العجز في هذا الفحص
379	فحوصات إضافية دأعمة
380	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية
382	المُلحق (5-1) الفحص بواسطة (DELTA2000 by MEGGER)
397	المُلحق (5-2) مُقترحات لإختيار فولتية الفحص المناسبة
400	المُلحق (5-3) فولتية التحمّل لفحوصات منخفضة التردد وفقاً للمعيار (IEEE)
402	المُلحق (5-4) جداول قيم معامل تصحيح درجة الحرارة
406	المُلحق (5-5) جداول قيم (PF) النموذجية لبعض عوازل الإحتراق المختلفة
407	المُلحق (5-6) جدول لبعض العوامل المؤثرة على نتيجة فحص (PF/DF)
408	المُلحق (5-7) جدول لبعض العوامل المؤثرة على نتيجة فحص المواسعة (C)
409	المُلحق (5-8) توصيلات الفحص وفقاً لشركة (MEGGER)
415	الفصل السادس: فحص تيار التهييج
415	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
416	الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
417	فلسفة الفحص
423	طُرُق الفحص
427	خطوات الفحص
429	تصحيح القيمة المُقاسة
429	تحليل نتائج الفحص

437	لعمومل المؤثرة على نتيجة الفحص
439	فحوصات إضافية داخمة
440	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعة
441	الملحق (1-6) الفحص بواسطة (DELTA2000 by MEGGER)
454	الفصل السابع: فحص مُفاعلة التسرب
456	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
456	الهدف التشخيصية عمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
457	فلسفة الفحص
461	أساليب الفحص
471	خطوات الفحص
472	نصائح القيمة المقاسة
473	تحليل نتائج الفحص
473	لعمومل المؤثرة على نتيجة الفحص
474	فحوصات إضافية داخمة
475	الملحق (1-7) الفحص بواسطة (TESTRAND 600 by OMICRON)
488	الملحق (2-7) تقرير المؤثرة على معدات المحول وأتمتة تشويهي
495	الفصل الثامن: فحص تحليل الاستجابة الترددية القسحي
496	متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟
497	الهدف التشخيصية عمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها
498	فلسفة الفحص
504	أساليب الفحص
510	خطوات الفحص
512	معلومات لا بُد من توافرها في تقرير الفحص
513	طبيعة نتائج الفحص
514	تحليل نتائج الفحص
517	أمثلة على أنماط نتائج وفقاً لنوع العطل
527	لعمومل المؤثرة على نتيجة الفحص
530	فحوصات إضافية داخمة
531	أمثلة على نتائج فحوصات مصنعة
534	الملحق (1-8) الفحص بواسطة (FRAX 99 by MEGGER)
546	الملحق (2-8) جدول المجموعة من الأعطال التي تؤثر على نتيجة الفحص
547	الملحق (3-8) جداول بالفحوصات اللازمة تبعاً لنوع المحول خُراد فحصه
550	قائمة المصطلحات
553	قائمة المصادر

الفصل الأول

مقدمة في المحولات



مقدمة في المحولات

نكاد لا نجد مكاناً يستطيعه البشر بحلول من المحولات تلك المُعدة التي حاور وجودها منذ قدماء، وذلك ابتداءً من تطبيقات الصعيرة في المنازل وإنهاءً بمحولات القوى الكهربائية في محطات توليد الطاقة الكهربائية ومحطات تحويلها، فلو نظرنا إلى المنظومة الكهربائية أحياناً هذه المحولات تلعب دوراً أساسياً في نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة، وذلك لتوزيع هذه الطاقة الكهربائية كمحولات التوزيع واسعة الانتشار، أي بمعنى آخر أنها تقوم بربط محطات التوليد بشبكة النقل وكذلك ربط شبكة النقل بشبكة التوزيع بالإضافة إلى ربط شبكة التوزيع بالمستهلكين نتيجة عمل هذه الأنظمة من توليد ونقل وتوزيع ومستهلكين على مستوى قولتيه ملائم لكل منها.

ومن هذا المطلق وقبل الخوض بشرح الخصائص التشغيلية لهذه المحولات، كان بدياً علينا أن نستغرق لشرح مُستند هذه محولات من ناحية مبدأ العمل والتركيب مما يجعل الغارئ على معرفة مهمة بأجزاء المحول الداخلية والخارجية مسجلاً أنه فهم أوسع للمحولات وقد تكشفه من أبعاد في هذا المحول.

1. ما هو المحول

عرفت اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) المحول على أنه مُعدّة إستاتيكية - أي أنها لا تحتوي على أجزاء متحركة - تتكون من مسيرين أو أكثر، وظيفتها الأساسية تحويل لولتيه والنزير المردد من مستوى إلى آخر مع ثبات التردد وهذا الظاهر الحد، الكهرومغناطيسي وذلك اعتماداً على الطاقة الكهربائية.

حيث يقوم المحول بتحويل الطاقة الكهربائية المُطْلَقة على مدخله الإستاتيكية إلى طاقة مغناطيسية ثم يُعيد تحويلها إلى طاقة كهربائية في دائرة أخرى وهي المخرجات الثانوية، مما يعني أن المخرجات الإستاتيكية والثانوية للمحول غير مُتصلة كهربائياً وبما مُتصلة مغناطيسياً عبر القلب الحديدي للمحول فقط.

ومن الجدير بالذكر أن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) لا تُفرّق بين المحولات على أساس أنها محولات قوى أو توزيع، وإنما تتعاضد مع المحول على أنه مُعدّة وظيفتي تحويل الطاقة والتأثير المردد من مستوى لآخر كما ذكر في تعريف المحول دون التفرّق المطبق الذي يشعبه هذا المحول. ولكن تقليدياً ومن المُتعارف عليه أن المحولات الكهربائية المُستخدمة لإيصال الطاقة الكهربائية للمستهلكين، بموسمات قدره 4000 فولت أو أقل غير متغايها الثانوية هي محولات توزيع وأكثر من ذلك هي محولات قوى، ومنهم من ذهب إلى اعتبار أن المحولات ذات فولتيه الملغاب الإستاتيكية التي تصل إلى 725 كيلو فولت كحد أقصى وبسعتها تكون عشرات أحياناً فولت أسير هي محولات توزيع وأكثر من ذلك هي محولات قوى حيث تصل فولتيه منها إلى الإستاتيكية إلى قرابة 8000 كيلو فولت وبسعتها مئات الميغا فولت أسير وفي هذا الجانب الحديث بطول، وصول بعضهم من ذهب إلى اعتبار المحولات ذات السعة الأقل من 500 كيلو فولت أسير على أنها محولات توزيع والمحولات ذات السعة الأكبر من ذلك على أنها محولات قوى.

وبطرا التشابه الكبير في التركيب بين محولات القوى والتوزيع بالإضافة إلى تشابه من ناحية المخرجات الكهربائية وأيضاً شُعب الرت المعدني كوسط عزل بينهما، فإنه عند ذكر المحول في هذا الكتاب سيكون

المقصود به محولات القوى والتوزيع المعمورة بالربط دون سرفه بينهما وفقاً برؤية بلجنة لكتير وتقنيه الدولة (IEC)

2. أنواع المحولات

تنقسم لمحولات الكهربائية إلى عدد أقسام رئيسية وفقاً للعبء من المعايير كعدد لأحوز وبسبة تحويل العواصة ونوع القلب حديد ونوع التبريد و'وضعه المناطة بهذا المحول بالإضافة لموقعه على لشبكة الكهربائية إلى الآتي.



3. مبدأ عمل المحول الكهربائي

عند شرح مبدأ عمل المحول الكهربائي فإن الصياغة (**Losses**) في تقديره دخل المحول تنبع دوراً كبيراً في رواده المعونة فهم مبدأ العمل، وهذا بدوره يُفسر مبدأ أغلب المراجع بشرح مبدأ عمل المحول المثالي (**Ideal transformer**) عند الحديث عن المحول الكهربائي الواقعي (**Actual transformer**)، حيث يُعتبر المحول المثالي محولاً افتراضياً غير موجود بالواقع عليه الصياغة ودو كسبه نص (100%) دامية، وتم إفتراضه لتفسير شرح وفهم مبدأ عمل المحول الكهربائي الواقعي وتلخص خصائص المحول المثالي بالنقاط التالية

✓ قيمة معاومة الملفات ثابتة وثنائية مساوية للصفر، أي لا وجود لمصدمات الماحة عن هذه المقاومات

- ✓ قيمة نفذية معدنيسيه (Permeability) لانيثيه للمادة المُكوّنة لقلب الحديدي (Iron core)، أي لا وجود للضياعات الهسيرييه (Hysteresis losses)
- ✓ قيمة الغيص المعدنيسي المُتسرب (Leakage flux) خارج القلب الحديدي (Iron core) مُساويه للصفر، أي أن الغيص المعدنيسي الشئع من مرور يار في اللففت الإند فيه يتفص بشكل كامل لللففت الثانيه دون وجود غيص مُتسرب على شكل ضياعات
- ✓ قيمه لتيارات لئؤاميه (Eddy currents) في القلب الحديدي (Iron core) و للففت مُساويه للصفر، أي لا وجود للضياعات النانجه عن هذه التيارات.

سأ عن هذه الخصائص تُمكن ملاحظه إهمال ضياعات القدرة كافه المعدنيسيه والكهرئيه في المحولات ائذليه (Ideal transformers)، وبم إعتد القدرة الداخه للمحول (P_{in}) مُساويه لئدره لخرجه منه (P_{out}) وكذلك القوانيه على أطرافه (V_1 و V_2) مُساويه للقوة الداخه الكهرئائيه المُؤوده من الحث كهرؤومغناطيسي (E_1 و E_2) بالنسب وأصاً يكون نسبة عدد اللففت (N_1/N_2) مُساويه لنسبة الفولتيه (V_1/V_2)

وهذه الخصائص غير موحوه عملياً بالمحولات الزائعيه (Actual transformers) نظراً لوجود قيمه لمقدومه القلب ووجود غيص لئسري ووجود تيارات دؤاسيه وكذلك تصعوبه الحصول على مدده سكوّنه لقلب الحديدي لانيثيه البعاده لمغناطيسيه. لذلك عند درسه المحول الواقعي (Actual transformer) يجب الأخذ بعين الإعتبار الضياعات جميعه التي تم إهمالها عند شرح مبدأ عمل محول المثالي (Ideal transformer).

وستنتج مما سبق أن محول المثالي (Ideal transformer) والمحول الواقعي (Actual transformer) يطبق بمبدأ العمل وبعرضه بأن المحول المثالي هو محول عديم الضياعات، أما المحول الواقعي فإنه يحتوي على العديد من الضياعات في دائريته المعدنيسيه والكهرئائيه والتي سيتم شرحها بالتفصيل لاحقاً في هذا الفصل ومنه ولتيسيط الأمر يمكن أن نؤمن أن المحول الواقعي ما هو، لا محول مثالي مُضافاً إليه ضياعات القدرة جميعها.

$$\text{Actual Transformer} = \text{Ideal Transformer} + \text{Losses}$$

أما لك سيكون منهاد في درسه مبدأ عمل المحول الكهرئائي الواقعي أولاً بدرسه مبدأ عمل المحول المثالي وثانياً بشرح صيغات لئدره في المحولات الزائعيه. و بذلك يكون القُصتي قد أحاط بمبدأ العمل ود صيغاته وعنده سيكون قادراً على فهم مبدأ عمل المحول الواقعي ورسم دائره لكافته والمُخطط المُنتجهي الخاص به

3.1 مبدأ عمل المحول المثالي

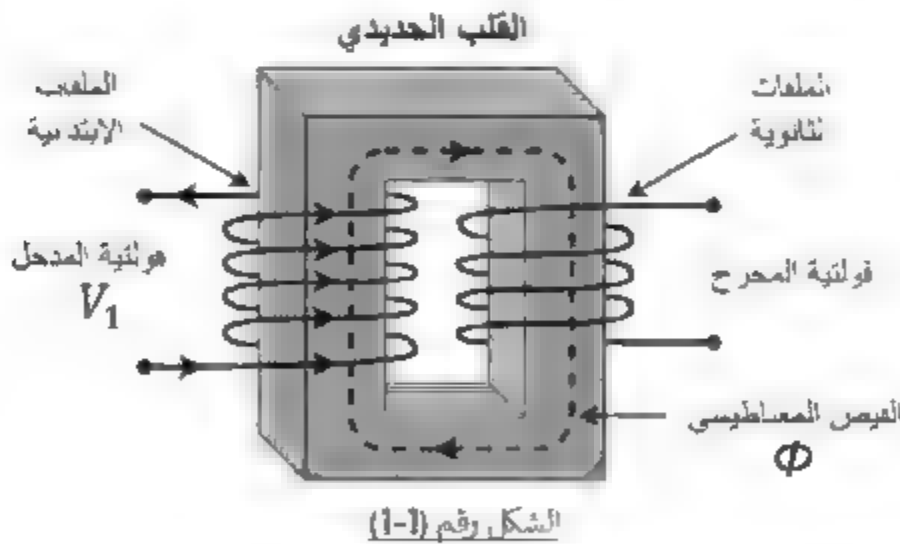
يعمل لمحول مثالي (Ideal transformer) وفقُ ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي، حيث أن صفته لإستثيه تقوم بمحول الطاقة الكهربائية والمُحتملة بأعولسية المترددة المُضغقة وإسار لذي يسري في صفته لإستثيه إلى فيص مغناطيسي ينسل عبر القلب الحديدي إلى الصفاب الثانوي، ومن ثم يتم تحويل هذا الفيص إلى طاقة كهربائية مرة أخرى مُتمثلته بصواتيه مترددة على أطرافه ثانوية أو ما يُسمى بالقوة الدافعة الكهربائية (Electro-Motive Force EMF - e) حسب قانون فاردي بيومن وإبر وفقاً لمعادلة التاليه

$$e = -n \frac{d\phi}{dt} \quad (1.1)$$

حيث:

e	قيمة الخطية لعمود الدافعة الكهربائية (فولتية) المُتولدة نتيجة للتغير في الفيص المغناطيسي
n	عدد اللفات
$\frac{d\phi}{dt}$	معدل تغير الفيص المغناطيسي مع الزمن.

ومنه يُمكن ملاحظة أن القوة الدافعة الكهربائية (e - EMF) الناشئة في سلك ضمن دائرة مُغلقة تتناسب مع مقدار التغير في الفيص المغناطيسي الذي يتعرض له السلك (قانون فاردي بيومن) ويكون هذه القوة الدافعة الكهربائية مُعاكسة لفيص الذي تُشأله (قانون أيررا) لذلك وُضعت إشارة السالب في المعادلة (1.1).



وبما أن الفولتية المُطبقة على الملف لإستثيه في (V_1) على شكل مُوجّه جيبية، فإن الفيص المُتكوّن سيكون جيبية أيضاً نصاً ($\phi = \phi_M \sin(\omega t)$) حيث (ϕ_M) تُعبر عن قيمة الفيص المُعظمي (Peak value)

$$e = -n \frac{d\phi_M \sin(\omega t)}{dt} \quad (1.2)$$

$$e = -n \omega \phi_M \cos(\omega t) \quad (1.3)$$

ولأن قيمة القوة الدافعة الكهروضيية (e) قيمة متناوبة كما هو موضح بالمعادلة (1.3) بدلالة وجود $(\cos(\omega t))$ في معادلة، فلا بُد من إيجاد قيمة الجذر التربيعي المتوسط لقيمة الجذر التربيعي ($\text{Root Mean Square - RMS}$) وذلك بـ قسمة على الجذر التربيعي للعدد ثمان ($\sqrt{2}$)، حتى تتسنى لنا المعامل حساباً مع هذه القيمة بسهولة ونفس.

$$E = - \frac{n \omega \phi_M}{\sqrt{2}} \quad (1.4)$$

بتعويض قيمة سرعة الزوارة ($\text{Angular speed} - \omega$) المتسوية لـ $(2\pi f)$ بالمعادلة، حيث (f) تُعبر عن التردد لتصبح المعادلة كالتالي.

$$E = -4.44 n \phi_M f \quad (1.5)$$

كما وتمكن الإستعانة عن قيمة الفيض العظمى (ϕ_M) بقيمة كثافة الفيض العظمى (B_M) مسروبة بمساحة المقطع العرضي للقلب حديدية (A) الذي يقطع خطوط مجال هذا الفيض لتصبح معادلة

$$E = -4.44 n B_M A f \quad (1.6)$$

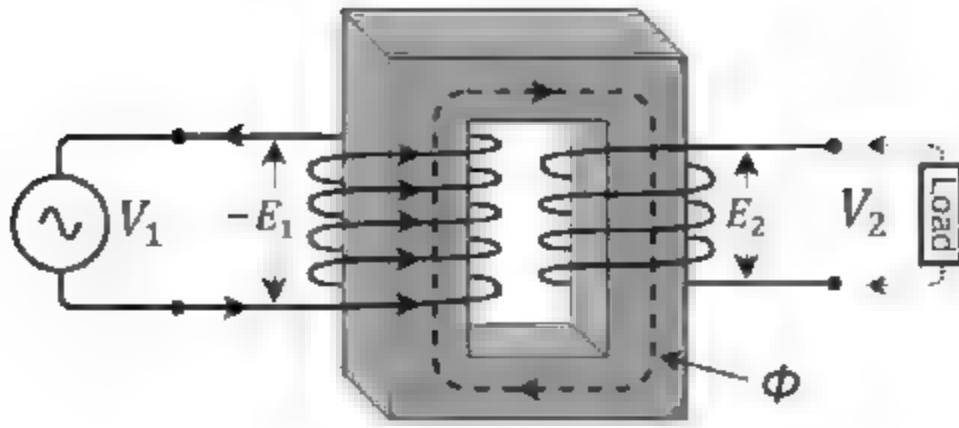
وبذلك نكون قد وصينا للمعادلة الأولى ثوحيان مقدار القوة الدافعة المتولدة في المصمت الابتدائية والثانوية بالترتيب:

$$E_1 = -4.44 n_1 \phi_M f \quad (1.7)$$

$$E_2 = -4.44 n_2 \phi_M f \quad (1.8)$$

وتقسمة المعادلة (1.7) على المعادلة (1.8) تظهر العلاقة بين الحوامية وعدد لفات في المحولات المثالية وفقاً للمعادلة التالية

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.9)$$

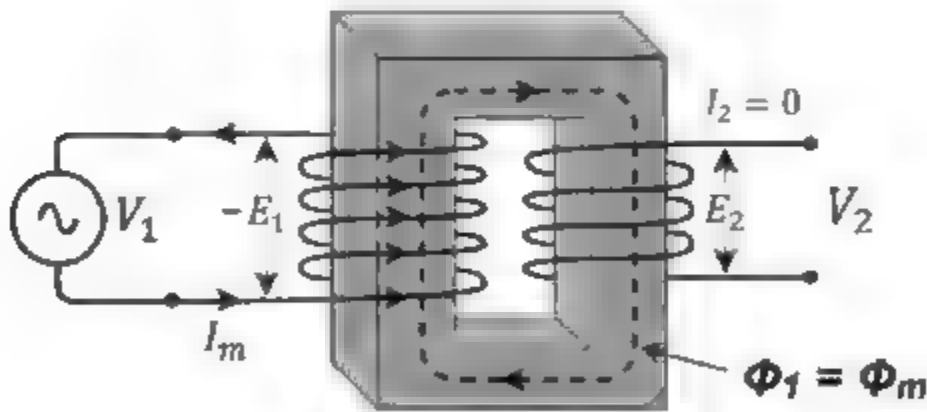


الشكل رقم (1-2)

بعد تطبيق فولتية مترددة على طرف الملفات الابتدائية المحول كما هو مبين بالشكل (1-2)، هناك حالتين لدراسة وهما:

- الحالة الأولى: إذا كان المحول غير موصول بحمل أو ما يسمى بحاله اللاحمل (No-Load).

في هذه الحالة فربما عند تطبيق الفولتية المترددة على أطراف المحول الابتدائية نشأ تيار تذبذب معبولة قليل ($\text{Magnetization current} = I_m$) في هذه الملفات، نتيجة قصص معادليسي يتدفق في (ϕ_1)، وفي حالت هذه - حالة اللاحمل - يكون هو نفسه لنفس المعادليسي المشترك (ϕ_m) وذلك لعدم وجود قصص معادليسي ثانوي (ϕ_2) نتيجة لعدم مرور تيار في الدائرة الثانوية مفتوحة المحول لعدم وجود حمل.



الشكل رقم (1-3)

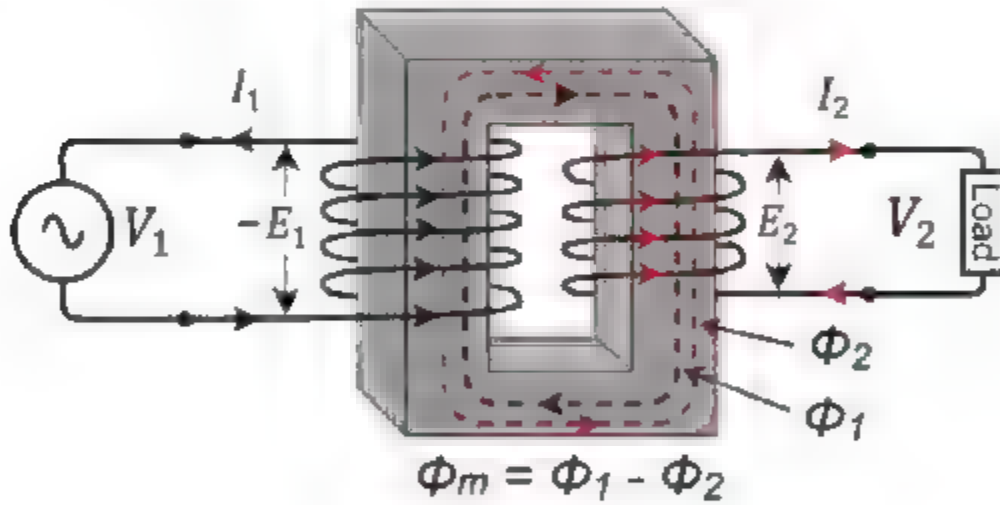
حيث، أن هذا القيص المعادليسي المشترك (ϕ_m) الذي يتدفق بشكل كامل إلى المصنعات الثانوية عبر الملف لحديدي سيؤدي ظهور قوة دافعة كهربية مُعاكسة (E_1 و E_2) في الملفات الابتدائية والثانوية نتيجة لقطع هذا المجال لهديس المتدفق. فلو نظرنا إلى الملفات الابتدائية سجد فيعتبى لغوتيه، إحداهما قيمه لغوتيه المُطلقة ولغوتيه المصدر والمشار اليها بالرمز (V_1) والأخرى هي لغوتيه المتولدة نتيجة لتأثير القيص المشترك (ϕ_m) على مصنعات الإندثية أو ما يُسمى بالقوة الدافعة الكهربائية (E_1)، حيث يكون

هذه لقوة الدفعة الكهربائية مُعاكسة لقيمتها العنقودية المُضغفة (V_1) حسب قانون لير، أي أن العنقودية المُضغفة ($V_1 - E_1$) مُضغفة على الحملات الابتدائية تكون قليلة مما يُفسر ظهور تيار تهييج معبطة فليس (I_m) وهذا ما يُعرف بظاهرة القوة الدافعة الكهربائية المُعاكسة (Back EMF)

أما فيما يخص الحملات الثانوية، فإن الفيض المُشترك (ϕ_m) سيؤدي ظهور قوة دافعة كهربائية (E_2) على أطراف هذه الحملات كما هو مبين بالشكل (1-3)

• الحالة الثانية: إذا كان المحول موصول بحمل (Loaded).

في هذه الحالة فإنه عند تطبيق الفولتية المترددة على أطراف المحول الابتدائية نشأ تيار تهييج - معبطة (I_m) في هذه المعينات وفيهض معدني في يتداني (ϕ_1) يقطع الحملات الثانوية مُنتجاً قوة دافعة كهربائية (E_2) وقوتها على أطراف المحول الثانوية أطراف الحمل بقدرها (V_2) مما يعني شوء تيار في الحملات الثانوية (I_2) ووفقاً لكون أن هذا التيار (I_2) الناشئ عن مرور فيض مغناطيسي (ϕ_1) يُنتج فيضا مغناطيسياً (ϕ_2) مُعاكساً للفيض الأساسي (ϕ_1)، لإتجاه، ليصبح الفيض المعدني المُشترك أو المُحصّل في القلب الحديدي (ϕ_m) مساوٍ للفيض المعدني الابتدائي (ϕ_1) مطروح منه الفيض المعاكس لسي ثانوي (ϕ_2) أي أن هذا الفيض المُشترك (ϕ_m) سيتعرض بهبوط حطياً كم هو مبين بالشكل (1-4)



الشكل، رقم (1-4)

وبما أن قيمته الفيض المعناطيسي المُشترك أو المُحصّل (ϕ_m) تعرمت بهبوط فإن قيمته قوة الدافعة الكهربائية الابتدائية ($-E_1$) معناب الابتدائية ($-E_1$) سوف تعرض الهبوط أيضاً، وذلك يعني زيادة العنقودية المُضغفة المُطغفة على المعينات لابتدائية ($V_1 - E_1$) مما يؤدي زيادة التيار في المعينات الابتدائية (I_1) وهذه الزيادة في تيار الابتدائي (I_1) سببها زيادة في قيمته فيض مُشترك أو المُحصّل (ϕ_m) و مساوي ($\phi_1 - \phi_2$) نتيجة لزيادته قيمة الفيض الابتدائي (ϕ_1)، وهذا ما يُسمى بالـ (Transformer Action)

ومنه يمكن القول أن الفيض المُشترك أو المُحصّل (ϕ_m) يكون ذو قيمة ثابتة في القلب الحديدي



ملحوظه (1-1). اشرح اساسي يصحح ان يكون جواباً لسؤال "كيف يتحسس المحول وجود حمل على أضراره الخاصه ونقدته تلقائياً برادة اسار الإبتدائي والثانوي؟"

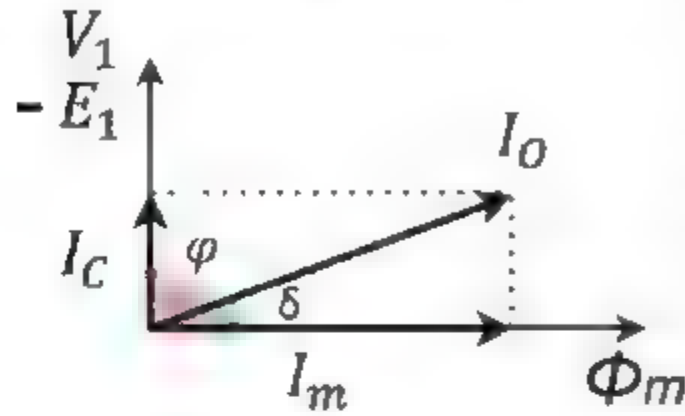
3.2 ضياعات القدرة في المحولات الواقعية

كما هو معروف أن القدرة 'مغالة' الدخلة المحولات 'لواقعية' (P_{in}) لا تساوي القدرة الفعالة الخارجة منها (P_{out})، وذلك بسبب الخسائر الكهربائية والمعدنية التي يتعرض لها هذه المحولات حيث تنقسم الخسائر داخل المحول كما هو مبين بالرسم الآتي:



• ضياعات اللاحمل – No-Load Losses

عند تطبيق هوية الإسمة بالتردد الاسمي عن أطراف المنفذ الابتدائية لمحولات مثالية (Ideal



الشكل رقم (1-5)

(transformers) بشأ تيار تهيج معطاة (I_m) فقط ويكون هذا التيار مسؤول عن تشكيل الميض في القلب الحديدي أو ما يُسمى بمغطة القلب الحديدي، ويكون مطابق مُتجهياً (in-phase) للفيض المغناطيسي المشترك (ϕ_m) وفُراح مُتجهياً بمقدار (-90°) عن القوة الدافعة الكهربائية ($-E_1$)

أما فيما يخص المحولات الواقعية (Actual transformers) فهالك مركبة

تيار أخرى تشأ بالإضافة إلى تيار التهيج - المعطاة - (I_m) سابق تذكر وهو تيار ضياعات القدرة أو لسبب (Power/Core loss current) وما نسمي أيضاً بـ ضياعات الثبات (Fixed loss current) ويُرمز له بالرمز (I_c) ويكون مُفراح مُتجهياً بمقدار ($+90^\circ$) عن الفيض المغناطيسي (ϕ_m) ومتطابق مُتجهياً (in-phase) القوة الدافعة الكهربائية ($-E_1$) ودو قيمة أقل من تيار التهيج المعطاة (I_m) كما هو مبين بشكل (1-5)، والمجموع المُتجهي (Vector sum) لتيارين (I_c) و (I_m) يُسوي تيار اللاحمل أو لدائرة المفتوحة (I_0 - No-Load/Open circuit current) والذي يكون مُفراح مُتجهياً عن الفيض المُشترك (ϕ_m) بزاوية تُسمى زاوية الضياعات (δ - Loss Angle)، وفُراح مُتجهياً عن القوة الدافعة الكهربائية بزاوية تُسمى زاوية طور (ϕ - Phase Angle) ويكون أيضاً ذو قيمة قليلة جداً يروح مصدره (1% - 2%) من التيار الاسمي للمحولات الكبيرة

ملحوظة (1-2): بالإضافة إلى تُسمى ضياعات اللاحمل (No-load losses) هنالك تسميات أخرى تم ذكرها مُسبقاً وهي ضياعات القلب (Core losses) و ضياعات القدرة (Power losses) و الضياعات الثابتة (Fixed losses) نظراً لثباتها في حالتي اللاحمل و احمل، حيث سيتم الإسعانة تُسمى ضياعات القلب (Core Losses) في سياق اشرح وستُقصد بها جميع ما سبق من التسميات لهذا النوع من الضياعات.



ملحوظة (1-3): هنالك مُركبة ضياعات عادة ما يتم إهمالها في حالة اللاحمل وهي المُركبة الناتجة عن مقاومة ملفات المحول ($I_0^2 R$)، وذلك نظراً لمقدار تيار اللاحمل القليل المر في هذه المصغرات والتي بدورها يؤدي لضياعات داخل هذه المصغرات قليلة ومُهملّة



وُشير تيار ضياعات القلب (I_c) سابق الذكر إلى مُركبتين رئيسيتين من مركبات الضياعات داخل القلب الحديدي وهما

○ صباغات التيار الدوامية في القلب الحديدي - Eddy Currents Losses

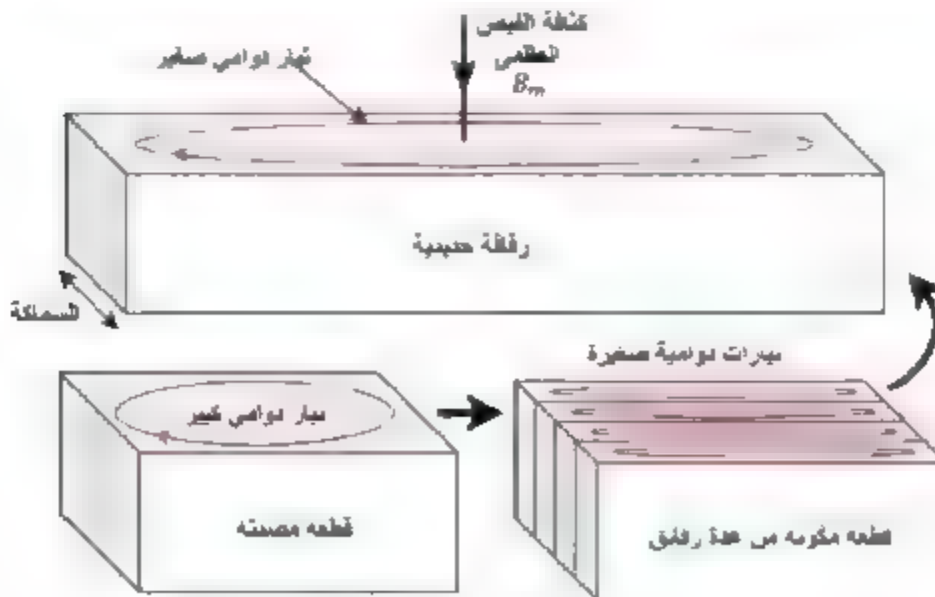
وهي أولى أنواع الصباغات اللاحقة، فوفقاً لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي والتي تنص على أنه " إذا تعرض بيلك موصلة في دائرة مغلقة إلى تغير في الفيض المغناطيسي متغير، ستنشأ فيه قوة دافعة كهربائية (EMF) e -) تتناسب مع مقدار التغير في هذا الفيض" ومنه فإن القلب الحديدي لمحرك (Iron core) ما هو إلا مادة موصلة والفيض في المحول يقطعها كما يقطع المغناطيس، بذلك تنشأ فيه قوة دافعة كهربائية والتيارات تعرف بالتيارات الدوامية (Eddy currents - I_F) لا يستعد منها بل وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة القلب الحديدي.

وتعتمد قيمة هذه الصباغات على حجم دونه التيار الذي يسري في الموصلة المستخدمة في تصنيع القلب الحديدي للمحول - مقدومه المادة لسريان التيار - وكذلك تتناسب مع قيمة تردد الفيض المطبقة على المحول ويسمى الفرق بين هاتين الطريقتين بـ "تأثير الحث المتبادل" كما يظهر في المعادلة (1.10) لذلك ذهب المصممون للمحولات إلى خفض قيمة هذه التيارات الدوامية ومن سيج عنها من صباغات بواسطة الحرق لذلك.

✓ جعل القلب الحديدي يتكون من رقائق رقيقة (Laminations) فراضه وموصولة مع بعضها على التوالي ومعزولة فيما بينها بمادة عازلة كما سيتم شرحه لاحقاً، مما يقلل من حجم الدوامية كما هو موضح بالشكل (1-6) ويقلل من قيمة الفقد الناتجة والتأثير، وأطلق قيمة الصباغات الناتجة عن هذه التيارات

✓ إضافة عنصر السيليكون (Silicon - Si) إلى المادّة المكوّنة للقلب الحديدي ييسر شغفها لا تتجاوز (5%) مما يزيد من مقدومه القلب لمرور التيار الكهربائي ويحد من هذه التأثير الدوامية خافضاً معه قيمة الصباغات (I^2R)

وعدة ما يتم الجمع بين هاتين الطريقتين عند تصميم المحولات حتى تصل إلى قيمة صباغات تيار الدوامية أقل بكثير من قيمة الصباغات التيسيرية أو ما يسمى بصباغات التباطؤ التي سيتم شرحها



الشكل رقم (1-6)

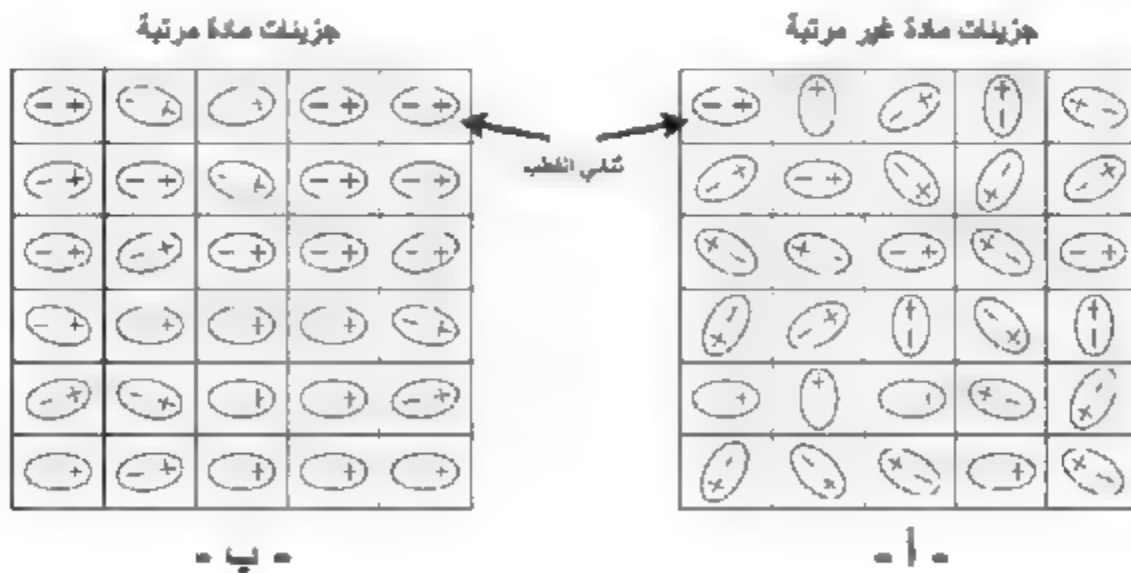
ويمكن حساب قيمه هذه الصياغات بالاعتماد على المعادله التاليه [AREVA Power transformers expertise Vol.2]

$$P_e = k_e f^2 t^2 B_M^2 \quad (1.10)$$

حيث	
P_e	مقدار صياغات التيارات الدواميه (Eddy current losses) لكل كيلوجرام من الحديد (w/kg)
k_e	عدد يعتمد على نوعية الحديد المستخدم في القلب وعادة ما تتراوح قيمه من 200 إلى 1000
f	التردد (Hz)
t	سمك الرقائق المكونه للقلب الحديدي (m).
B_M	القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي (T)

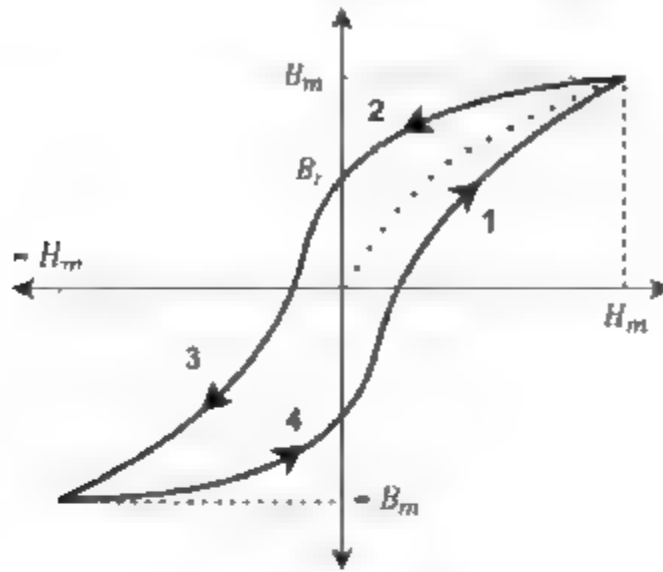
○ الصياغات الهستيرية في القلب الحديدي - Hysteresis Loss

وهي ثاني أنواع صياغات اللا حمل، هوفقاً لنظرية الفيروماتي الفرنسي (بير و يس) أو ما يُسمى بنظرية حركات دُمائيه الحُط، في المعادليسيه جديده (Domain theory in ferromagnetism)، فإن المعدل المعادليسيه أو الدايه لضعفله مثل الحديد و الكوبالت والنيكل يتكون بتركيبها من جزيئات دُمائيه مُضمت وتكون سورعه سُحبها بشكل عشوائي داخل الماده كما هو موضح في الشكل [1-7] (أ)، وعند تعرض هذا المعدل لمجال مغناطيسي تقوم هذه الحركات بالانصفاف، بإتجاه المجال المغنيسي كما هو موضح في الشكل [1-7] (ب).



الشكل رقم (1-7)

و يشار اليه بالتيار و العولنية الخطية على المحول متغيرة مع الزمن فإنه عند انعكاس اتجاه التيار و انعكاس اتجاه المجال المعطى للمغناطيسي المؤثر على جزيئات المادة، خرب من هذه الجزيئات تغير اتجاهه مع المجال المحول الناتج من انعكاس التيار و ينشأ جزء بسيط على وضعيته و اتجاهه إلى قدره إضافية لتغير اتجاهه مع اتجاه المجال الحثي، وهذا ما يُسمى بالمغناطيسية المتبقية



الشكل رقم (1-8)

أو (Residual magnetism) (Remanence - B_r) كما هو موضح بمصطلح $(B - H)$ أو $(\phi - mmf)$ في الشكل (1-8)

و تعتبر هذه القدرة اللازمة لتغير اتجاه (عادة ترقيم) جزيئات المادة المكونة لقلب الحديد للمحول نوع من أنواع الضياعات داخل المحولات الكهربائية وتسمى بالضياعات الهستيرية أو ما يسمى بصدمات التباطؤ والتي تؤدي لارتفاع درجة حرارة القلب الحديدي

المحول، حيث تتناسب مساحته الموضحة في الشكل (1-8) مع مقدار الضياعات في المقارنة الناتجة عن هذه الخاصية الهستيرية وهذا بدوره يُفسر تأثير موجه الحث للمغناطيسي عن موجه العولنية المتبقية

و تعتمد قيمة هذه الضياعات على نوع المادة المستخدمة في تصنيع القلب الحديدي للمحول وكذلك تتناسب مع قيمة تردد العولنية الخطية على المحول، كما يظهر بالمعادلة (1.11)، لذلك ذهب مصنعا المحولات إلى خفض قيمة هذه الضياعات بواسطة الطرق التالية

✓ إضافة عنصر السيليكون (Silicon - Si) إلى المادة المكونة لقلب حديدي بسبب شعاعه لا يتجاوز (5%) مما يحسن الخصائص المغناطيسية للمادة وتعمل من قيمة الضياعات الناتجة عن هذه الخاصية.

✓ تحالض المادة المكونة لقلب الحديد من الشوائب وخاصة عنصر الكربون

✓ توجيه حُبيبات المادة المكونة لقلب الحديد (Grain-orientation) والتي سيتم الحديث عنها لاحقاً.

ويمكن حساب قيمة هذه الضياعات بدقة الترددات (50 & 60 Hz) هيرتز بالإعتماد على المعادلة التالية لواردة في [AREVA Power transformers expertise Vol.2]

$$P_h = k_h f B_M^n \quad (1.11)$$

حيث:

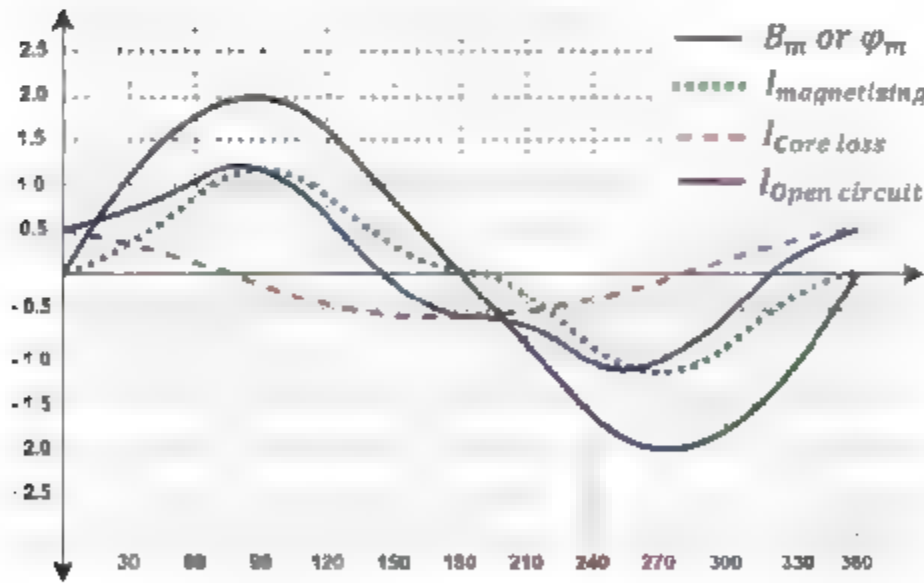
- P_h مقدار الضياعات الهستيرية لكل كيلوجرام من الحديد (w/kg)
 k_e ثابت يعتمد على نوعه حديد المستخدم في القلب ومقدار كثافته اعطى بمعطيسي وعادة ما تتراوح قيمته من 3×10^{-3} إلى 20×10^{-3} .
 f التردد (Hz).
 B_m القيمة القطبي لكثافة الفيض المغناطيسي (T).
 n لأس وتكون قيمة بين 0.5 و 2.3 حسب نوعية الحديد المستخدم في القلب ومقدار القيمة اعطى بكثافة الفيض معطيسي وعادة ما يكون قيمته محصوراً بين (1.5T - 2T) نسلاً

ومنه فإنه في حالة اللاحمل (No-Load) وعند تطبيق فولتية مُترددة على أطراف المحوّل الواقعي (الإستثني، سيبدأً يار نُعرف بتيار اللاحمل I_0 - No-Load/Open circuit current) يتكوّن من شركتين كم هو مُبين بالمعادلة التالية:

$$I_{Open\ circuit} = I_{magnetizing} + I_{Core\ loss}$$

حيث أن

$$I_{Core\ loss} = I_{eddy} + I_{Hysteresis}$$



الشكل (رقم 1-9)

ملحوظة (1-4). يمكن ملاحظته أن تيار اللاحمل (No-Load/Open circuit current I_0) ذو موجة غير جيبية كما هو مبين بالشكل (1-9)



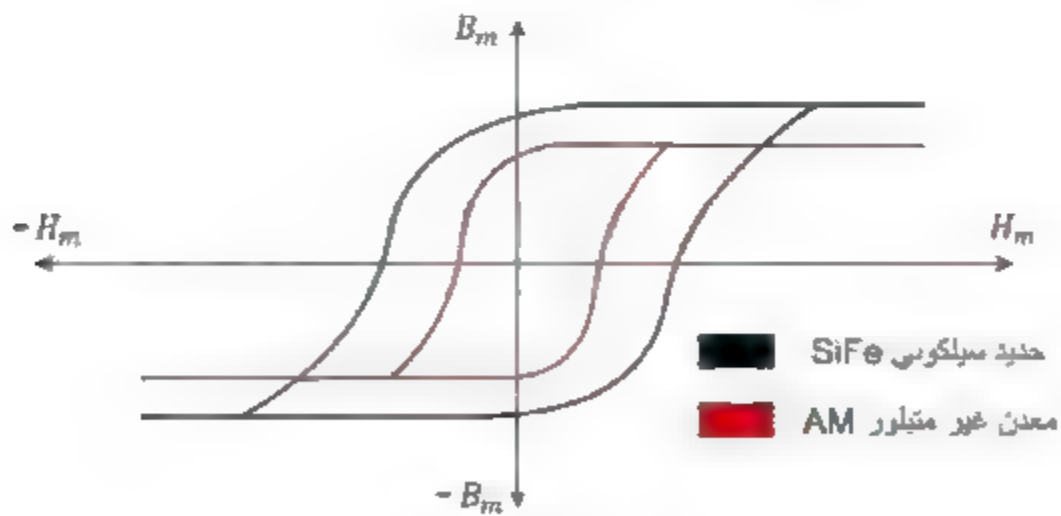


ملحوظة (1-5): تُشكّل بسبب الصياغات الهندسية إلى صيغ التيارات الدوامة ما يقدره (40:60) في الحديد السيليكوني القلبي، ومقداره (28:72) لحديد عادي البقاية (H-B)

دارعم مما تم شرحه من صياغات في حالة الاحتمال فإن هذه الصيغيات تبدو صغيرة نسبياً حيث من كفاءة المحولات الكهربائية تتراوح من (95% - 99%) بالمتة وهي نسبة مرتفعة، إلا أن العدد لمهوس لهذه المحولات في المصنوعة الكهربائية جعل لهذه الصياغات قيمة كبيرة لا يمكن إهمالها وكذلك جعل من تحسين كفاءة المحولات أمر ذو أهمية قصوى، حيث سنع قيمة صياغات السب (Core losses) ما مقداره (5%) بمئة من إجمالي ما يتم توليده من قدرة كهربائية وهو مقدار كبير جداً وبالعودة لدراسة حول هذا الموضوع أجريت في عام 1988 في بريطانيا ووجد أن هذا النوع من الصياغات (Core losses) أن ذلك العام أدى احسائر مائة فترت (110) دلتون حيث سترايبي!!

لذلك تزداد الكثير من الشركات المصنعة المحولات وخاصة الشركات الكبرى إلى تحسين كفاءة هذه المحولات كشركة (ABB) التي ذهبت إلى استبدال المادة المستخدمة في تكوين القلب لحديدي لمحول المواد صيغيات فن مثل استخدام المعدن غير المتبلور (Amorphous Metal - AM) عوضاً عن الحديد السيليكوني (Silicon Steel - SiFe) الذي يُعتبر الأكثر شيوعاً كفاءة فأكزفة سبب الحديد المحولات لتوزيع مما يُقلل من قيمة صياغات القلب، بسببه تفصل (70%) كحد أقصى.

الشكل (1-10) يوضح منحنى (B-H) لمحولين أحدهما ذو قلب من الحديد السيليكوني والآخر ذو قلب من معدن غير متبلور، حيث يمكن ملاحظة الاختلاف في الحادية الهندسية من معدن لآخر مما يعني صياغات أقل



الشكل رقم (1-10)

● ضياعات الحمل – Load Losses

يرتبط الحمل بملفات المحول سحبة وصله بحمل يؤدي إلى ظهور قدره ضائعة على شكل حرارة، حيث تنقسم هذه القدرة الضائعة إلى ضياعات مادية أو نحاسية ($I^2 R$ - Resistive or Copper losses) ناتجة عن قيمة مقاومة الملفات (DC resistance) وضياعات شاردة (Stray losses) كاضياعات ناتجة عن التيارات الدوامية بالملفات (Eddy currents losses) وضياعات التيار للدائرة في الموصلات المتوازية (Parallel Conductors Stray losses) والضياعات الشاردة في الأجزاء الهيكلية لمكوّنات المحول (Structural Parts Stray losses)، حيث سيتم شرحها تفصيلاً كالآتي.

○ ضياعات الملفات – Winding Losses

■ الضياعات المادية أو النحاسية – $I^2 R$ Resistive or Copper Losses

عند مرور تيار في ملفات المحول وتبعاً لقيمة مقاومة الملفات (DC resistance) تُظهر ضياعات تسمى الضياعات المادية أو النحاسية (Resistive or Copper losses) و تكون قيمه هذه للضياعات قرابة (85% - 95%) بالمئة من قيمة ضياعات الحمل (Load losses)، كما ويعتمد مقدار هذه النوع من الضياعات على مربع قيمة التيار بالإضافة ان قيمة مقاومة الملفات وفقاً للمعادلة التالية [AREVA Power transformers expertise Vol.2]

$$P_r = I^2 R_w \quad (112)$$

حيث:

P_r	: قيمة الضياعات المادية أو النحاسية (W)
I	: التيار العار بالملفات (A)
R_w	: قيمة مقاومة التيار الثابت للملفات - DC resistance (Ω)

وبوصيه الوحيدة لخفض قيمة هذه الضياعات هي بتقليل مقاومة الملفات ويتم ذلك بعمل لموصلات ذات مقطع عرضي أكبر بغرض تقليل، وذلك لأن جعل الموصلات ذات مقطع عرضي كبير قد يؤدي لضياعات نحاسية غير مرغوب بها، لذلك يلجأ مُصنعوا المحولات إلى التمسك من طول الملفات عرض الحصول على مقاومة كهربائية أقل ومنه خفض قيمة الضياعات الناتجة عنها.

■ ضياعات التيارات الدوامية بالملفات - Winding Eddy Currents Losses

من المفصّل فهم أن المحول يؤدي إلى ظهور تيارات دوامية (Eddy currents) داخل الملفات المحول محدثاً ضياعات تُسمى بالـ (Eddy currents losses) أو (Foucault losses) كما هو مبين بالشكل (1-11)، حيث يمكن حساب قيمة هذه الضياعات ولكن بشكل مُعقد وذلك يعود

لإختلاف قيمه هذه الضياعات وفقاً لكثافته لميخص المعاطيسي اختسرت وروسته لبدان يعتمد على موقع هذه المعاطات.

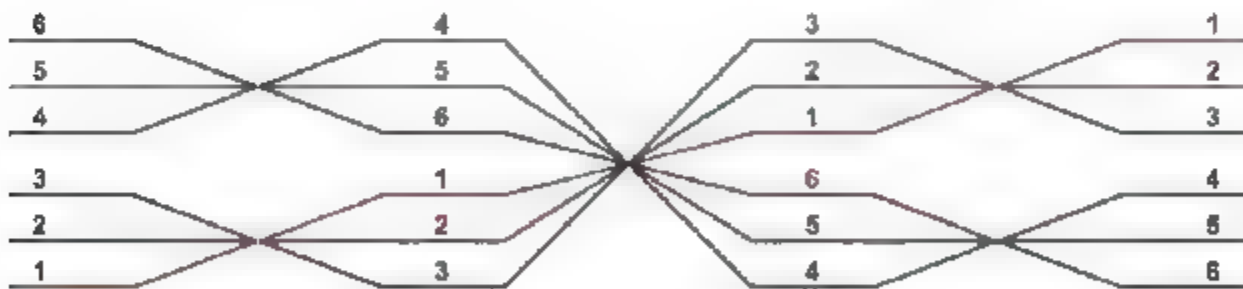


الشكل رقم (1-11)

■ ضياعات التيارات الدوّارة في الموصلات المتوازية - Parallel Conductors Stray Losses

كما تم شرحه سابقاً أن كل جزء من أطراف يتعرض لمقدار معين من الفيض التسمري يختلف عن باقي الجزء المتبقي وفقاً لموقعه في المحول، وبما أن عيبه فإن الموصلات المتوازية تتكونة للمصنف تعرض مقدار معين من الفيض التسمري وهذا يعني مقداراً معيناً من فوذية احث سيحدث في هذه الموصلات، وتبعاً لهذا الإختلاف، في الموائمة سيحدث تيار دوّار بين هذه الموصلات المتوازية (Circulating current) من شأنه عمل ضياعات تؤدي لإحماء يصعب هذه المصنفات

ولاحظ من قيمة هذه الضياعات، يمكن عمل تعديل بين مواقع هذه الموصلات المتوازية (Transposition) لتعرض لنفس الفيض التسمري مما يحد من مرور هذه التيارات الدوّارة (Circulating currents)



الشكل رقم (1-12)

حيث يُوضح الشكل (1-12) أحد طرق عمل تعديل بين موصلات مصنف محولات (Transposition) لتعدي على ظاهرة التيارات الدوّارة داخل هذه الموصلات المتوازية

○ ضياعات الخزان – Tank Losses

■ ضياعات شاردة في الأجزاء الهيكلية - Structural Parts Stray Losses

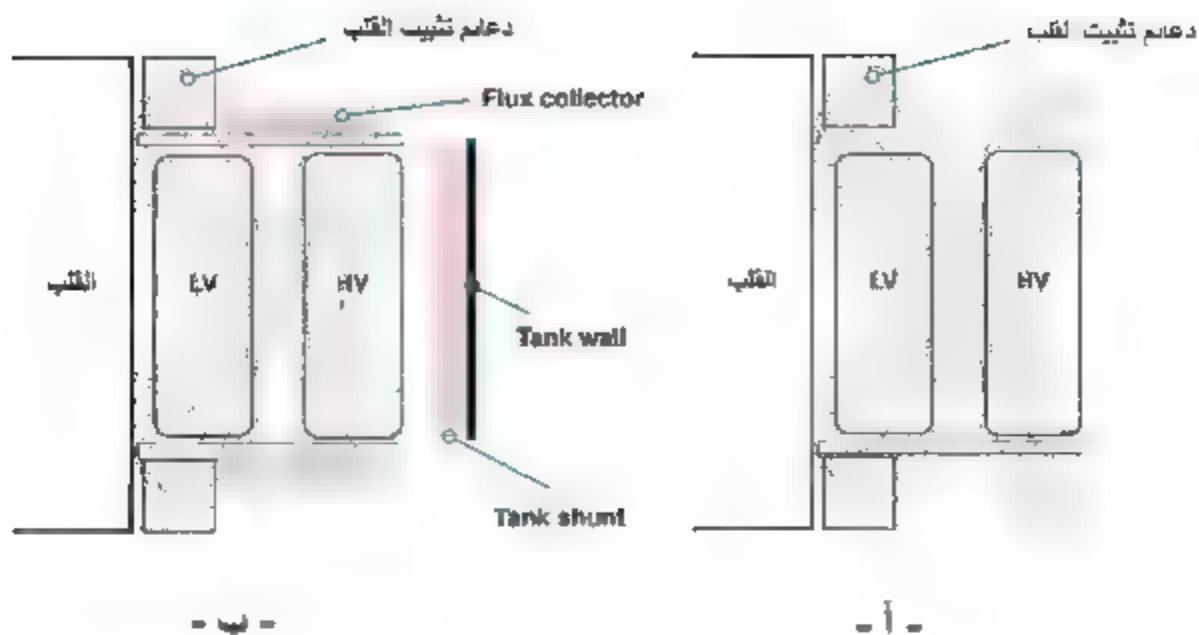
لأجزاء الهيكلية المعدنية المكونة المحول مثل خزان خزن المحول وغضاؤه ودعائم التثبيت الخاصة بالقلب حديدية (Core clamp) وغيرها من الأجزاء تتعرض لبعض المعطّبات المتسرب وما ينتج عنه من حث كهرومغناطيسي كما هو الحال بملفات محوّل. وهذا بدوره يؤدي لمشوّه يذرت دواميه (Eddy currents) في هذه الأجزاء الهيكلية المحوّل والتي من شأنها حصّ إجماء لهذه الأجزاء والمشاركة في قبة الضياعات الكلفة

■ ضياعات شاردة ناتجة عن الأطراف التي تحمل تيارات عالية - Stray Losses due to High Current Leads

نشأ هذه الضياعات في الأجزاء الهيكلية الفرية من نقاط التوصيل التي يمر من خلالها تيارت عسة مثل بؤلة إنشاء ملفات بموصلات حوّل لإخراج أو كما تسمى حُلُب المحولات (Transformer bushings)، حيث يكون المحالّ المعناطيسي ذو قيمة مرتفعة عند نقاط التوصيل مما يؤدي إلى ظهور تيارت دواميه (Eddy Currents) في الأجزاء الهيكلية الفرية من هذه النقاط كما ذكر سابقاً

لذلك، والمتخصص من هذا النوع من الضياعات (Tank losses) يتمّ اللجوء إلى وحدة أو أكثر من هذه الحلول التي تنحصر بـ

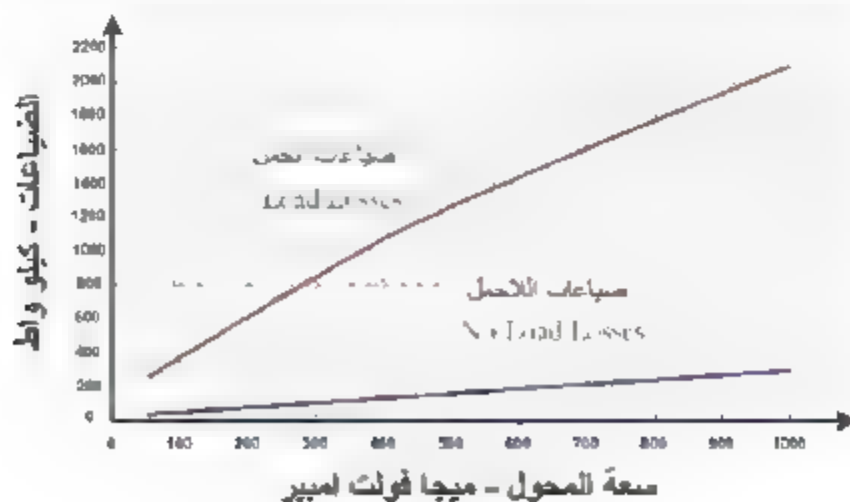
- ✓ اختيار مادة مناسبة لهذه الأجزاء الهيكلية المعدنية وخاصة الفرية من نقاط التوصيل التي يمر من خلالها تيارات مرتفعة مثل استخدام الحديد غير المعناطيسي (Non-magnetic steel) عوضاً عن استخدام الحديد المعناطيسي (Magnetic mild steel)
- ✓ استخدام تصميم مناسب لهذه الأجزاء الهيكلية، حيث تؤثر تصميم الأجزاء الهيكلية الداخلية للمحول بشكل كبير في الحد من هذه الضياعات كما وتُمكن الإسعفة عن بعض أجزاء دعائم تثبيت القلب لحديدي (Core clamp) والتي لا تتعرض لقوى ميكانيكية كبيرة بموجب عذره بدلاً من المواد المعدنية.
- ✓ التحكم والحد من كمية المعيص المتسرب في المحول وذلك باستخدام دروع كهرومغناطيسية واقية (Electromagnetic shields) أو ما تُسمى بالـ (Flux rejector) أو أيضاً تُمكن استخدام الـ (Magnetic shunt) أو ما تُسمى بالـ (Flux collector) وذلك للحد من وصول المعيص المتسرب للأجزاء الهيكلية المعدنية المكونة للمحول كما هو مبين بالشكل (1-13) (ب) ويكود مؤرّض بنقطة واحدة مع خزان المحول.



الشكل رقم (1-13)

وهذه الصيغات الشاردة (Stray losses) يصعب إيجاد قيمتها حسابياً، لذلك يتم اللجوء للحطوب لدلي لمعرفة قيمتها التقديرية.

- ✓ قياس قيمة الصيغات الكمية أثناء مرور تيار لحمل (Load losses).
- ✓ ثم قياس قيمة مقاومة ملفات المحول (Winding DC resistance) وسنأمكن حساب قيمة الصيغات المدية أو الحاسبة (I^2R) بحيث تكون قيمة هذه الصيغات قريبة (95% - 85%) من قيمة صيغات الحمل (Load losses).
- ✓ ثم يتم طرح قيمة الصيغات الحادية أو الحاسبة (I^2R) من قيمة صيغات الحمل الكلية المقاسة (Load losses)، وذلك للحصول على قيمة صيغات شاردة (Stray losses) وهذه ما تكون قيمة هذه الصيغات الشاردة قرينة (5% - 15%) من قيمة صيغات الحمل (Load losses).



الشكل رقم (1-14)

يُبين شكل (1-14) مقدار النموذجي (Typical) لصياعات المحوّل في حالي الحمل واللا حمل وفقاً لسعة المحوّل بالمسحاق فولت أمبير

وبذلك نكون قد أحصينا قدر الإمكان بالصياعات الخاصة بالمحوّل الوقي (Actual transformer) و يمكن رسم دائرة مكافئة له وفهم الاختلاف بينها وبين نظيرتها للمحوّل المثالي (Ideal transformer)

4. الدائرة المُكافئة للمحوّل

سند رسم الدائرة المُكافئة لمحوّلات الكهرباء الو فعية (Actual transformer) بحسب أخذ صياعات أقداره سابقة الذكر بعين الاعتبار، حيث يتم تعويض كل نوع من هذه الصياعات بعنصر في الدائرة المُكافئة وفقاً للإعتبارات التالية:

✓ الصياعات المادية أو النحاسية – Resistive or Copper Losses

تنسب قيمة هذه الصياعات مع مُربع قيمه التيار المار في الملفات ($I^2 R$)، لذلك أسهل لفهم التمثيل هذه الصياعات التي تؤدي لإحماء مادي لصياعات المحوّل الابتدائية والمتنوية هي على شكل مقاومة مادية (R_1 و R_2) على التوالي مع مصدر العولمة في الدائرة المُكافئة

✓ صياعات التيارات الدوّامية - Eddy Currents Losses والصياعات الهستيرية - Hysteresis Loss

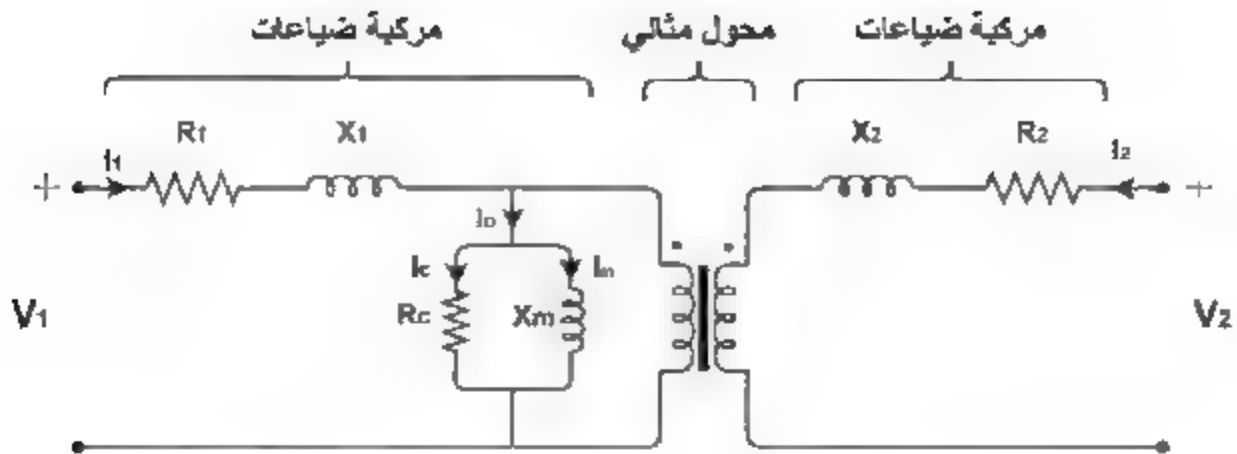
تنسب قيمة هذه تيارات والصياعات الناتجة عنها في قلب الحديدي مع قيمه العولمة المُطلقة، لذلك يتم تمثيل هذه الصياعات على شكل مقاومة مادية (R_c) على التوالي مع مصدر العولمة في الدائرة، مُكافئة على أطراف الإدخال للمحوّل، فقط

✓ صياعات الفيض المُتسرب - Leakage Flux Losses

يتم تمثيل هذه الصياعات بعداً نوعها وعلاقتها بالسوائية والتيار المُطبق على شكل مقاومة حثية (X_1 و X_2 - Reactance) في دائرة المكافئة للصياعات لإند فية والشدة في المحوّل

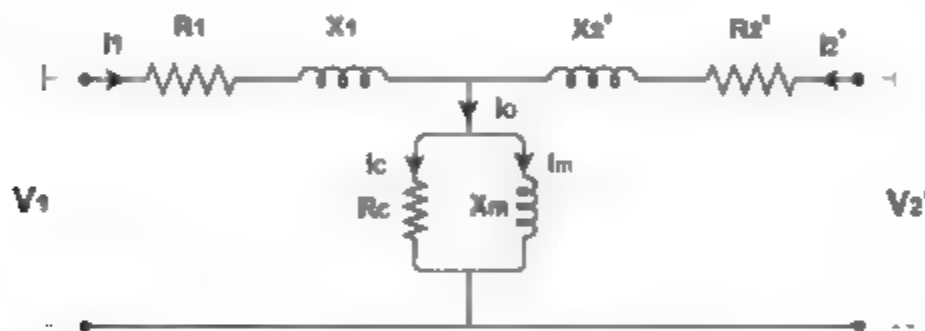
✓ تيار التهيج أو المعنطة للمحوّل - Excitation or Magnetization Current

تنسب قيمة هذا تيار مع العولمة المُطلقة على أطراف الملف الابتدائي ويكون شرح مُتجهياً بمقدار (-90°) عن العولمة، لذلك يتم تمثيله على شكل مُعاذلة حثية (X_m) على التوالي مع المقاومة المادية (R_c) لتصبح الدائرة المُكافئة كالآتي



الشكل رقم (1-15)

واليسر الإشارة المكافئة ودارة المحول، أمثالي من الرسم هاتك طريقين؛ الطريقة الأولى بسب مركبات صاعدت الدائرة المتكافئة، إلى الابتدائية وهو ما يسمى بالإنجليزية (Referred to primary) والطريقة الثانية بسب مركبات صاعدت الدائرة الابتدائية إلى الثانوية (Referred to secondary). ويمكن أن يكون ملاحظه شكل (1-16) و سيجي بوضوح عمليه بسب مركبات صاعدت الثانوية لدائرة الابتدائية مما يسهل التعامل مع هذه الدائرة كهربائياً.



الشكل رقم (1-16)

ويكون التبسيط وفقاً للمعادلات التالية:

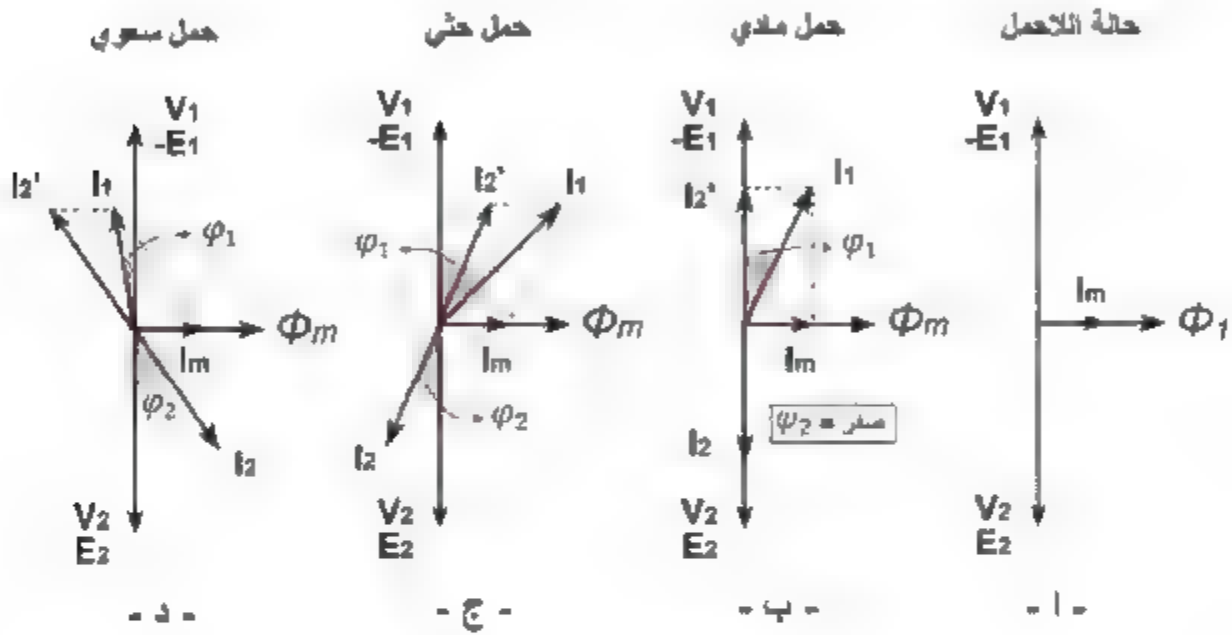
$$\begin{aligned} X_2' &= a^2 X_2 \\ R_2' &= a^2 R_2 \\ V_2' &= a V_2 \\ I_2' &= \frac{I_2}{a} \end{aligned} \quad (1.13)$$

حيث:

$$a = \frac{V_1}{V_2} \quad (1.14)$$

ولزيادة الفهم يمكن تمثيل فوتيات ويارات الدائرة المكافئة وكذلك تأثير الصياعات عليها باستخدام المخططات المتجهية (Phasor diagrams)

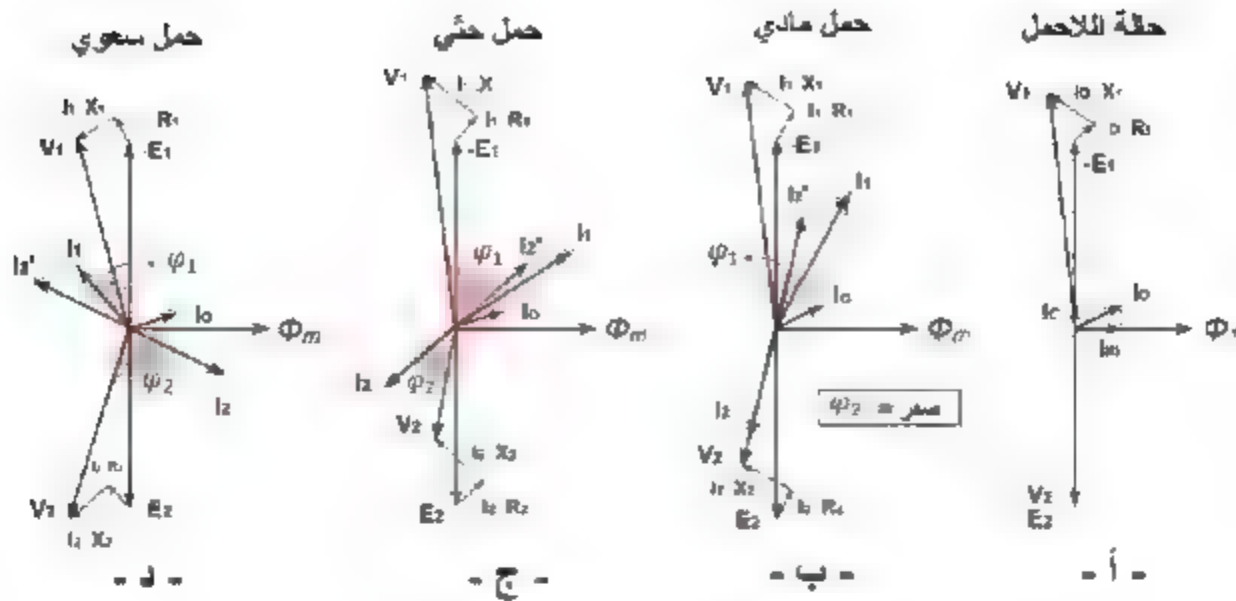
الشكل [1-17, أ] يُمثل مخطط متجهي (Phasor diagram) لمحول مثالي (Ideal transformer) أحادي الطور نسبة تحويله 1:1 في حالة اللاحمل (No-load)، ولأشكال [1-17] (ب و ج و د) توضح المخططات المتجهية (Phasor diagram) لنفس المحول في حالة وصل دائرته لثاوية نارة بحمل مادي (Resistive Load) و نارة بحمل حثي (Inductive load) و نارة أخرى بحمل سعوي (Capacitive load) مع إهمال تأثير الصياعات على ثرة لكرته محول مثالي (Ideal transformer)



الشكل رقم (1-17)

حيث يظهر الشكل (1-17) إهمال تأثير معوضة الصياعات (R_1 و R_2) والمعاينة الحثية (X_1 و X_2) لنسبة من القصر المتسرب والتي تؤثر على قيمة القواصة المتولدة (Induced voltage)، بالإضافة إلى إهمال تيار القلب (I_c) وما يسمى بتيار صياعات القلب والناجم عن تيارات الدوميه وانحاصيه المستترة في القلب الحديدي والذي يؤثر على قيمة التيار الابتدائي (I_1).

أما فيما يخص المحولات الواقعية (Actual transformers) فيجب مراعاة تأثير تركيبات الصياعات على ثرة الإنبثية والثاوية عند رسم المخطط المتجهي (Phasor diagram)، حيث يمثل الشكل (1-18) المخطط المتجهي لمحول واقعي (Actual transformer) أحادي الطور نسبة تحويله 1:1 في حالة اللاحمل (No-Load) وكذلك في حالة وصله بأحمال مخسفة (مبدية و حثية و سعوية)



الشكل رقم (1-18)

ومن الشكل (1-18) يُمكن ملاحظته أن معامل القدرة (Power Factor - PF) الخاص بالمحول يعتمد بشكل كلي على طبيعة الحمل الموصول على طرفي المحول الثانوية، وهذا يسر عدم ذكر أية قيمة المعامل القدرة على لوحة البيانات (Nameplate) الخاصة بالمحول حيث لا يُمكن التنبؤ بالحمل الذي سيتم وصله بالمحول فيما إذا كان حمل مادي أو جيئي أو سعوي

5. تركيب المحولات الكهربائية

بعد الانتهاء من شرح مبدأ عمل المحول نظرياً لا بُدَّ أنْ من شرح مكونات المحولات الكهربائية معصورة بالزيت والتي تتمثل بالأجزاء التالية:

5.1 Main Tank

5.1 لخزان الرئيسي

5.2 Active Part

5.2 لجزء النفعال

- Iron Core
- Windings
- Core Clamp

- القلب الحديدي
- المصنعات
- دعائم التثبيت

5.3 Tap Changer

5.3 مُغيّر الخطوة

5.4 Insulation System

5.4 نظام العزل

5.5 Transformer Oil

5.5 زيت المحول

5.6 Cooling System

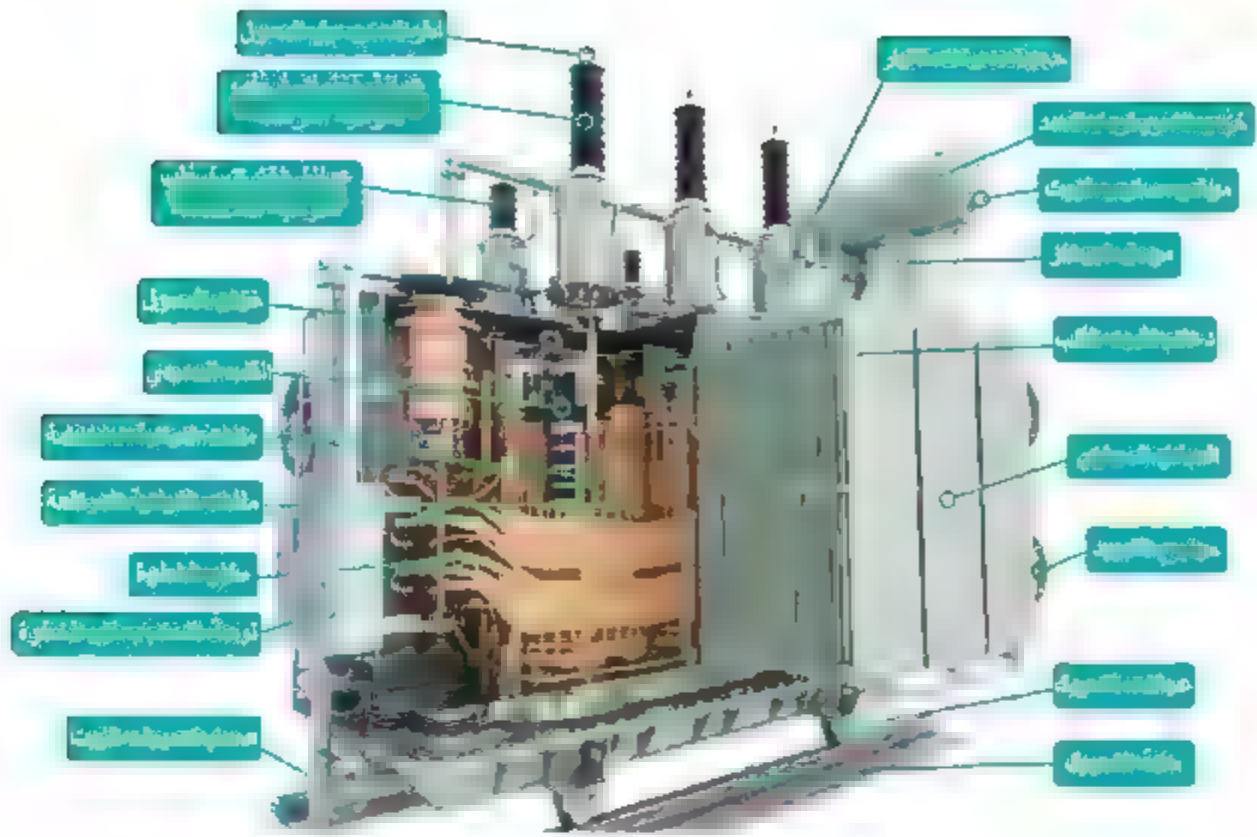
5.6 نظام التبريد

5.7 Bushings

5.7 عوازل الإختراق أو الخُلب

5.8 Accessories

5.8 أجزاء مُساعدته



الشكل رقم (1-19)

5.1 الخزان الرئيسي - Main tank

الخزان الرئيسي الممّول هو ذلك الخزان أو الوعاء المغلق الذي يحوي بداخله اقسام الحديد والصلب وكذا ريت الممّول وخاصة ما يكون مستطابقا لشكله حيث تكون وظيفته بالضغط الهوائي

✓ تأمین الحماية الميكانيكية اللازمة لها بحوية بدخله من اجزاء قلب ومعدات - او كما تسمى بالأجزاء النشطة (Active parts) أثناء عملية العمل أو أثناء التشغيل الصعي للممّول

✓ يحوي الريت الخاص بالممّول تحت الضغط التشغيلي دون حدوث أي تسرب لها الريت

✓ إعطاء لمقاومة كافية أمام دحرجة انخفاض وارتفاع الضغط (Vacuum and Over pressure tests

في طور التصنيع، حيث يصل الضغط أثناء فحص انخفاض الضغط (Vacuum test) إلى

قربه الـ (1 mbar) ملي بار أو أقل من ذلك، أما أثناء فحص ارتفاع الضغط (Over pressure

test) قد يصل إلى (0.35 bar) بار فوق الضغط التشغيلي.

ويكون الخزان من صنف معدنية من الـ (Mild steel) المثقوى ذو السمك المناسب، وكما ذكر سابقاً فإن حرج الممّول يقع في ممرى الفحص المتسرب من القلب الحديدي مما يعني تكون تسرب دونه توالي الإحماء هذا الخزان، مما دفع فُصموا للمحولات إلى استخدام مادة الألمنيوم أو الحديد غير الممغنط (Non-magnetic steel) في تصنيع الخزان وذلك الحد من تكون هذه التيارات الدوامية وما ينشأ عنها من ضغوط ونقاط إحماء

• أنواع الخزانات الرئيسية للمحول

تنقسم الخزانات الرئيسية للمحولات وفقاً لعدد معايير كطريقة التجميع وكذا لنمط تقوص بين وسط العزل الداخلي والمحيط الخارجي للمحول كالآتي

○ حسب طريقة التجميع

يكون الخزانات من عدة من قطعتين رئيسيتين يوصلان ببعضهما بواسطة البراغي أو اللحام وتنقسم المحولات من حيث تصميم هاتين القطعتين إلى ثلاثة أقسام رئيسية شائعة الاستخدام

▪ خزان ذو حافة تثبيت علوية - High flange tank design

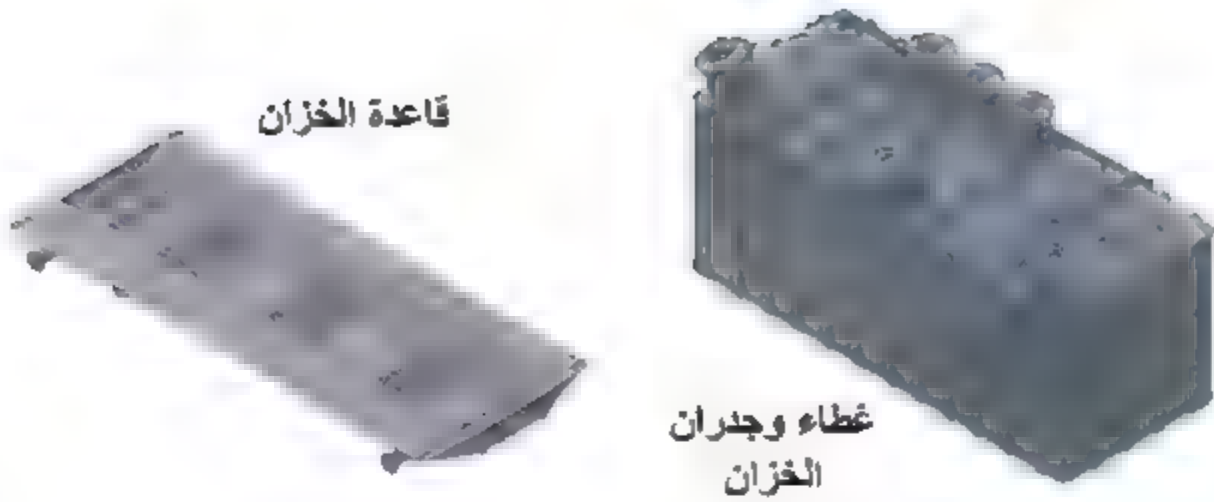
يتم استخدام هذا التصميم عادة للمحولات الكبيرة، حيث يكون الخزانات في هذه الحالة من قطعتين وهم غطاء الخزان العلوي والقطعة الثانية هي قاعدة الخزان والجدران معاً كما هو مبين في الشكل (1-20)، ويتم وصل هاتين القطعتين بواسطة البراغي أو اللحام كما ذكر سابقاً حيث تعتبر هذا النوع الأكثر شيوعاً



شكل رقم (1-20)

▪ خزان ذو حافة تثبيت سفلية - Low flange tank design

يتم استخدام هذا التصميم عادة للمحولات الصغيرة، حيث يكون الخزانات في هذه الحالة من قطعتين وهما القاعدة والقطعة الثانية هي جدران وغطاء الخزان العلوي معاً كما هو مبين في الشكل (1-21)، ويتم وصل هاتين القطعتين بواسطة البراغي أو اللحام كما ذكر سابقاً



الشكل رقم (1-21)

▪ خزان ذو قلب مُعلّق بالغطاء - Cover hung design

يتم استخدام هذا التصميم عادة للمحولات الصغيرة، ويكون تصميم هذا النوع مُدابق للنوع ذو الحافة العلوية (High flange tank) والموضح بالشكل (1-20)، بحيث يكون القلب الحديدي والسمات - لجره - متصل بغطاء الخزان العلوي. ويُعتبر هذا النوع الأكثر شيوعاً لمحولات لتوزيع.

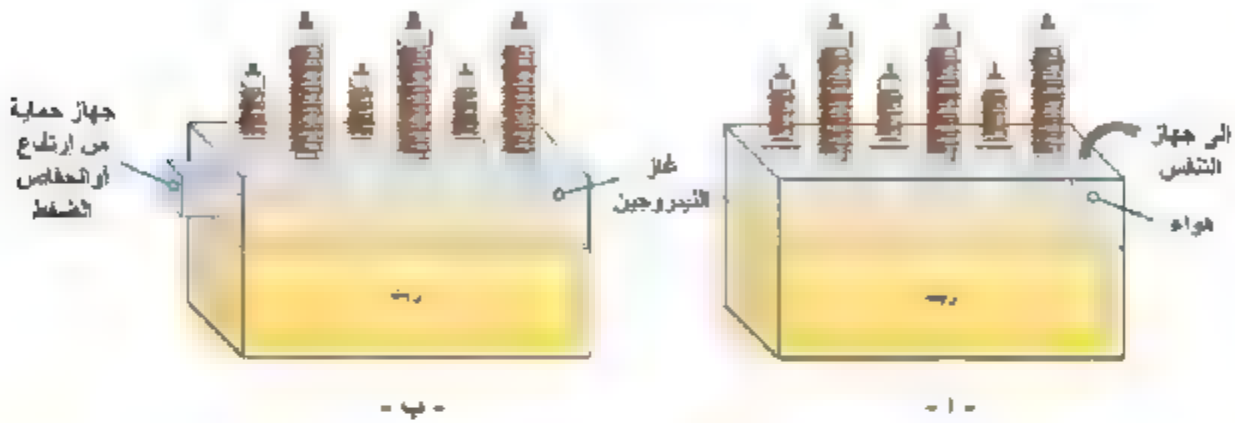
○ حسب نمط التواصل بين وسط العزل الداخلي والمحيط الخارجي للمحول

يُمكن تقسيم الحرائق الرئيسية للمحولات تبعاً لنمط التواصل بين وسط العزل الداخلي وهو الزيت في غالب الأحيان والمحيط الخارجي للمحول كالآتي:

▪ نظام الخزان المفتوح على الهواء الجوي - Open to Atmosphere or Free Breathing Tank System

لا يحتوي هذا النوع على حزن تعويض أو تمدد (Conservator tank)، بحيث يحتوي الحزن على زيت المحول بالإضافة إلى مساحة على الزيت تكون مملوءة بالهواء المصنوع على الهواء الجوي الخارجي كما هو مبين في الشكل (1-22) (أ)، ويكون حركة الهواء من وإلى الخزان عبر أنبوب انفس في حال الإختلاف لتسبب لاحتراق الزيت نتيجة لارتفاع حرارة الزيت بسبب إختلاف حجم المحول أو درجة حرارة الجو المحيطة، وتكون مُقدمة أنبوب انفس نتيجة لأسفل مبعاً للمحول مياه الأمطار كما وتُمكن وضع شبك معدني على مقدمة هذا الأنبوب لمنع دخول الصووت الصلبة إلى حزن المحول ويُصاحبه أيضاً يمكن إضافة مادة لإمتصاص الرطوبة من الهواء الداخل للمحول كمادة أسبكا حل وذلك لموضعها نوعاً عادة ما يكون راجي وثبتته بمعدن أنبوب انفس ويُعتبر هذا التصميم من التصميم القديمة للحرائب الرئيسية للمحولات ومن سبباته إمكانية دخول الهواء الرطب والشوائب الخزان المحول مما يؤثر على خصائص الزيت وكذلك يؤدي لتسارع تدهور المادة لعازلة الصلبة خاصة ذات الأساس السيليلوزي.

■ **نظام الخزان المعزول أو المضغوط – Sealed or Pressurized Tank System**
لا يحتوي هذا النوع على خزان تعبئ أو تمدد (Conservator tank)، بحيث تكون الخزان معزول كلياً عن البيئة المحيطة ويحتوي على زيت المحول بالإضافة إلى مساحة أعلى تربط تكون مملوءة بعار النيتروجين، خاص ولحاف مضغط أعلى بمقدار بسيط من الضغط الجوي مما يحول دون دخول الرطوبة أو الأكسجين في حال حدوث تسريب كما هو مبين في الشكل (1-22) (ب) و يتم إضافة جهاز للحماية من ارتفاع الضغط أو انخفاضه داخل المحول يسمى (Pressure vacuum bleeder) بحيث يكون نطاق الضغط لهذا النوع (10psi - 8psi)



الشكل رقم (1-22)

■ **خزان ذو نظام تحكم بضغط الغاز الخامل – Inert-Gas-Pressure System Tank**
لا يحتوي هذا النوع على خزان تعبئ أو تمدد (Conservator tank)، حيث يحتوي الخزان على زيت المحول بالإضافة إلى مساحة أعلى تربط تكون مملوءة بعار النيتروجين الخاص بضغط أعلى بمقدار بسيط من الضغط الجوي مما يحول دون دخول الرطوبة أو الأكسجين في حال حدوث تسريب كما هو مبين في الشكل (1-23) ويتم إضافة جهاز مراقبة الضغط داخل المحول وفي حال انخفاضه عن قيمة معينة يفقد برادة الضغط عن طريق حقن عار النيتروجين، وفي حال ارتفاع الضغط عن قيمة معينة يتم طرد كميته من عار النيتروجين خارج المحول بعار جهاز تنفس (Breather)، بحيث يكون نطاق الضغط لهذا النوع (7.5psi - 0.5psi).

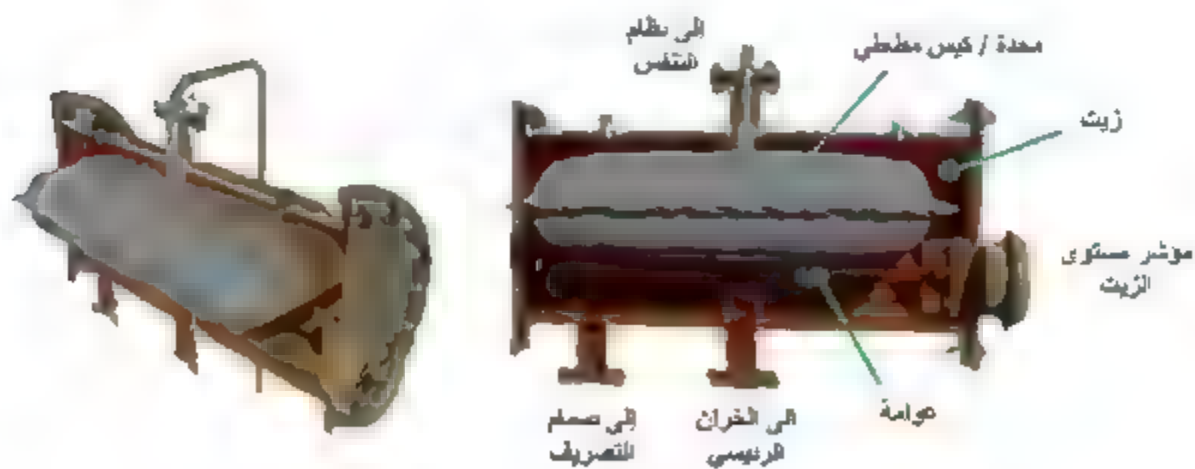
كما وتحتدر الإشارة إلى أنه في حال استخدام أسطوانة النيتروجين الخاصة بالمحول لا يتم التخلص من أي مورد هذا النوع من العار بشكل عشوائي، بل يجب التأكد من مواصفات هذا العار وحدث لأن النيتروجين المستخدم في المحولات يجب أن يُضيق المواصفات المخصوص عنها في المعيار [ASTM D-1933 Type III] وكما هو موضح في معايير معهد سي الكهروم والإلكترونيات (IEEE C57.12.00-1993)

■ نظام تخزين تعويض ذو كيس هواء مطاطي – Conservator Tank with Air Cell

في هذا النظام يكون الخزان الرئيسي للمحول ممتلئاً بالزيت ويكون مُتصل بخزان تعويض أو تمدد (Conservator tank) يحتوي على زيت المحول و وحدة كيس مطاطي أو كما تُسمى (Air bag or cell) ممتلئة بغاز النيتروجين الخامل، وتكون هذه الخزان متصلة مع البيئة المحيطة حيث تمنع هذه الميزة حصول تماس مباشر بين الهواء الخارجي والزيت كما هو موضح بالشكل (1-25)، وعادة ما يتم استخدام هذا النوع من الخزانات في المحولات ذات الفولتية الأكبر من (115kV) كسوقوت والتسعات الأكبر من (10MVA) متحولات أسير

عند الارتفاع الطبيعي لتسعة العازل للمحول والناتج عن ارتفاع درجة حرارة الزيت وازدياد حجمه يقوم الزيت بالتسعة على وحدة العازل - الكيس المطاطي - مما يؤدي إلى خروج غاز منها للبيئة المحيطة عبر فتحة تنفس المحول، وفي حالة الانخفاض الطبيعي لتسعة الزيت للمحول واندراج حادة عن انخفاض درجة حرارة الزيت مما يؤدي انقباض حجم الزيت مما يُعطي مساحة إضافية للوحدة العازل لتفريق الهواء الحاف عن نظام التبريد مروراً بوعاء صغير يحتوي زيت وذلك لتفريق الهواء الداخل من أية حبيبات كالعازل وغيرها من الحبيبات غير المرغوب بها ومن ثم يمر من خلال وعاء يحتوي مادة السيليكا جل والتي تتلخص وتطفيئها بخليليس الهواء الداخل للوحدة من الرطوبة.

ملحوظة (1-6). تُصنع الوحدة (الكيس الهوائي) بحجمية بحزن التمدد من مادة انعطاف وكما هو معلوم فإن المصاط من المواد التي قد تسرب الرطوبة من خلالها، لذلك يجب تجنب الهواء الداخل لهذه الوحدة المضادلة من الرطوبة عبر جهاز التبريد (Breather) كما ذكر سابقاً.



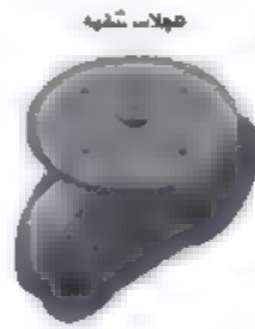
الشكل رقم (1-25)

وعلى ذكر الخزانات الرئيسية للمحول كان أراماً أن تذكر الخشبة أو الحلقات المطاطية (Gaskets) التي تمنع تسرب زيت المحول في مناطق إقفاء الأجزاء المعدة الخاصة بالحرارة كعشاء الخزانات وبساط توصيل

أدنى درجات الحرارة الرئيسية تخزين التبريد و مناطق البقاء المشع (Radiator) بالحرارة الرئيسية وكذلك أغشية فتحات الخزانات المختلفة وغيرها من الأماكن

ونتم اختيار نوع الخشنة (Gaskets) أخذين بعين الاعتبار الحرارة التشغيلية لمحول ورفع الربط أو مانع دخول لمحول وكذلك لصعق الدخيل لمحول وذلك لمقود هذه الخشنة (Gasket) بالعمل الخياط بها وهو منع تسرب الزيت لاصول فترة من الزمن مع مراعاة أن تكون المادة المكونة بها ليس لها أي تأثير على الزيت ولا يؤدي لتسوته، كما ويجب تصميمي بشكل يسهل سهولة سبيلها عند سبيلها

كما و نعد المواد لتدبه (Cork-nitrile أو Cork-neoprene أو Nitrile أو Viton) أكثر مواد المستخدمة شيوفاً في تصنيع هذه الخشنة (Gasket) حيث تمتلك كل مادة خصائص حرارية مختلفة عن الأخرى، فمنها ما يتم استخدامه في الحرارة المرتفعة أو المتوسطة ومنها ما يتم استخدامه للحرارة المنخفضة



وتحذر الإشارة أيضاً لبعض الملاحظات الخاصة بالحرارة الرئيسية لمحول مثل العجلات التي تعتبر إضافة غير إجبارية بحيث يمكن تركيب المحول دون عجلات، بالإضافة إلى وجود فتحات بقاعدة الخزان الرئيسية يمكن تحريك المحول من خلالها في طور التركيب بالموقع (Installation) وتسمى

(Haulage eyes)، وكذلك يوجد مصنعة يتم تصميمها لتحمل قوة ميكانيكية كبيرة و تستخدم لوضع الحث عليه ورفع المحور وتسمى (Jacking point or plate) كما يظهر الشكل (1-26)

5.2 الجزء الفعال - Active part

يتكون هذا الجزء من القلب الحديدي بالإضافة لمعدات المولدين المرتفعة و منخفضة و كذلك دعائم التثبيت الخاصة بالقلب الحديدي كما هو مبين في الشكل (1-27)



الشكل رقم (1-27)

• القلب الحديدي - Iron Core

هو ذلك الجزء الذي يحمل المعدات الإندسية والتدويرية المحوّل ويُعتبر أيضاً مسار الفيض المغناطيسي داخل المحوّل والمسؤول عن نقل الفيض المغناطيسي وتركيزه بين ملفات المحوّل لما له من نقادية مغناطيسية مرتفعة (High Permeability)



الشكل رقم (1-28)

وعند تصميم القلب الحديدي للمحوّل وإلى جانب خصائصه الميكانيكية والحرارية تتم مراعاة أن تكون الضياعات الناتجة عن هذا القلب أقل ما يُمكن وذلك باختيار المادة الأساسية المكوّنة لهذا القلب حيث يجب أن تكون مادة حديدية مغناطيسية (Ferromagnetic material) أي أن نقاديتها المغناطيسية مرتفعة (High Permeability)، وكذلك يجب أن تكون مادة دعمة المغنطة (Soft magnetic)

material أي عدم قارنها على الإحتفاظ بمعاطيسية مُصنعة كبيرة بعد رول تأثير المجال لمعاطيسي له رجي وبالإضافة إلى إختيار المادة المناسبة للقلب الحديدي يتم جعل القلب يتكون من رقائق (Laminations) لا من قطع سميكة مُصنعة من المعدن بحيث تكون هذه الرقائق (Laminations) مترصبة فيما بينها ومعزولة عن بعضها البعض.

○ أنواع وفئات المعادن المُكوّنة للقلب الحديدي

تُعتبر لإصدارات المُصنعة من الحديد السيليكوني موجه الحبيبات والمُعرف على الدرد (Cold rolled grain-oriented silicon steel - CRGO) و تُحسباً يُسمى بالحديد الكهربائي (Electrical steel) عوصاً عن الحديد السيليكوني (Silicon steel) كثر المواد المستخدمة شيوفاً له به خصائص معاطيسية جيدة ويُقصد بتوجيه الحبيبات (Grain-oriented) رتيبها لتكون بوجه واحد وهو توجه الدرفلة (Rolling)، حيث أن حبيبات هذا النوع من المعدن تُحصى أفصراً خصائص معاطيسية بالإتجاه التي تكون موجه إليه وتقلل من كمية الصباغات الهستيرية.

أما فيما يخص السيليكون فإن وجوده مع الحديد بنسبة معينة تتراوح من (3% - 5%) بامنة يجعل الحديد أكثر مقاومة لتتقدم (Ageing) وتُساعد في عملية توجيه حبيبات الحديد (Grain orientation) عن طريق جعل الحديد أقل قابلية للتأكسد وتقلل أيضاً من الصباغات الهستيرية (Hysteresis losses) بالإضافة إلى زيادة مقاومته لكهربائيه بحديد (Resistivity) مما يُحد من التيارات الدوامية (Eddy currents) وبالتالي يُسأل من قيمة الصباغات الناتجة عن هذه التيارات إذ أن الحديد السيليكوني يُستخدم في المحولات وذي نحوي ما نسبته (3%) بالمئة من السيليكون تُصلل مقاومته الكهربائية (50 $\mu\Omega\text{cm}$) أي أنه يزداد بمقدار أربعة أضعاف عن نظيره الحديد غير سيليكوني (Pure Iron).

وبالمقابل فإن وجود السيليكون مع الحديد يتسبب أكثر من التيسر الموصل بها من شأنه جعل الحديد هيناً وصعباً بتشكيل بالإضافة لتقبل ثباتيته لمعاطيسية (Permeability)، إذ أن نقطة الإشعاع

(Saturation point) للحديد السيليكوني

تساوي (2.03 T) تسلاً عوضاً عن (2.15 T)

تسلاً للحديد غير السيليكوني أو النقي (Pure Iron)

أي أنه قلب مُرانة (6%) بالمئة، علماً

بأن كثافة العيص للمحولات عادة ما تكون من

(1.3T - 1.8T) تسلاً بوضع القشعين المُتبعي

المحولات

أحدثت تكنولوجيا إضافة السيليكون للحديد

دائسب أهمية مذكورة سابقاً ثورة في تصنيع

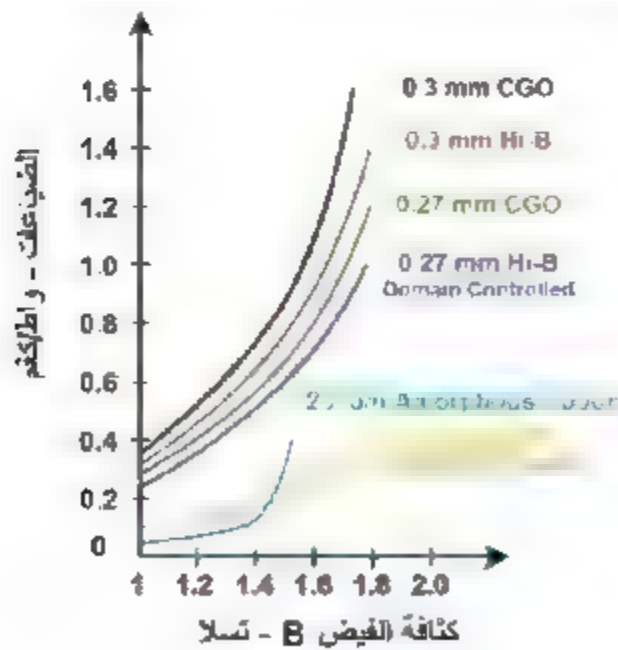
لمادة المُكوّنة للقلب الحديدي، حيث أن

قيمة ضياعات القلب (Core Losses) لأول

معدن حديد تم إضافة السيليكون له تساوي

قرابة (7 W/kg) واحد/كغم فقط عند كثافة

عيص معاطيسي مقدارها (1.5 T) تسلاً وتزداد

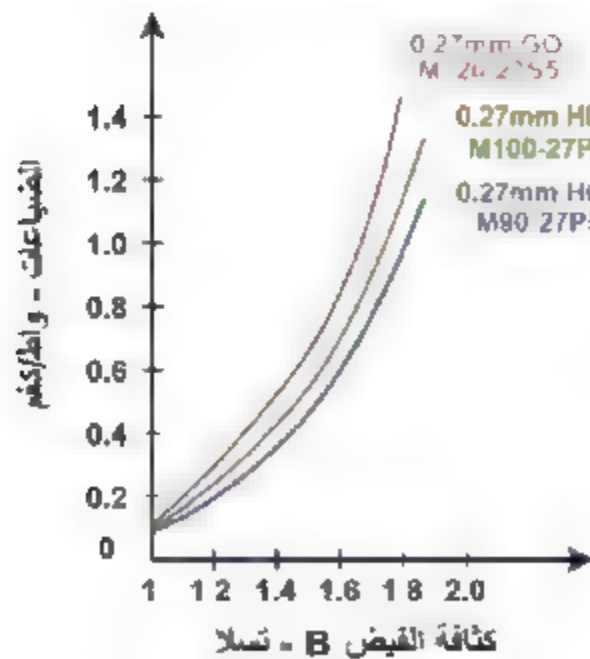


الشكل رقم (1-29)

مقداره (50 Hz) هيرتز، وهذه التكنولوجيات كانت الأساس لما أتى بعدها من مواد شكوته جيد، لقلب يبدأ من الحديد غير موجه، حبيبات (Non-Oriented) مرزراً بالحديد موجه الحبيبات والمُدرقل على ساحس (Hot Rolled Grain-Oriented – HRO) ذو صياحات قلب قريبة 2 W/kg واط/كغم عند كثافة قصص معنصبي مقداره (1.5 T) سلا وتره مقداره (50 Hz) هيرتز، زس ثم لحاها موجه الحبيبات والمُدرقل على مارد (Cold Rolled Grain-Oriented – CRO) ذو صياحات قلب قرابه 1.5 W/kg واط/كغم عند كثافة قصص معنصبي مقداره (1.5 T) سلا وتره مقداره (50 Hz) هيرتز والذي تم استخدامه بشكل مجاري في نهاية ثلاثينيات القرن العشرين (1939)، وصولاً إلى الحديد غان السادية موجه الحبيبات والمُدرقل على مارد (High Permeability Cold Rolled Grain-oriented – Hi-B) والذي يحوي صياحات أقل قرابه (25%) بألته من نظيره (CRO) الأقلتي حيث تتروح صياحات القلب الحدية بهذا النوع قرابه 0.85 W/kg واط/كغم عند كثافة قصص معنصبي مقداره (1.7 T) سلا وتره مقداره (50 Hz) هيرتز والذي تم استخدامه منقطع سيعينيات القرن العشرين (1970s) وأصبح هو الأساس في صناعة القلب الحديسي للمحولات في منتصف تسعينيات القرن العشرين (1995) إلى يومنا هذا، وصولاً إلى ما أتى بعد ذلك من معادن كالحديد دقيس البلور أو الحبيبات (Microcrystalline steel) ومعادن غير المتشورة (Amorphous steel) والتي من شأنها تحسين كفاءة محولات وذلك بخصص صياحات المنحاة عن هذا القلب كما هو مبين بالشكل (1-10) ولكن ما راا إبتشار هذا النوع على نطاق صيقي لتكلفته النصليعية المرتفعة مقارنة بما سبقه من أنواع.

و يبين الشكل (1-29) المقارن في زيم صياحات القلب للأنواع المختلفة من المواد شكوته بالقلب الحديسي.

أما فيما يخص تركيب القلب الحديسي فإنه يتكون كما ذكر سابقاً من رقتي رصيعه (Laminations)، يتروح



الشكل رقم (1-30)

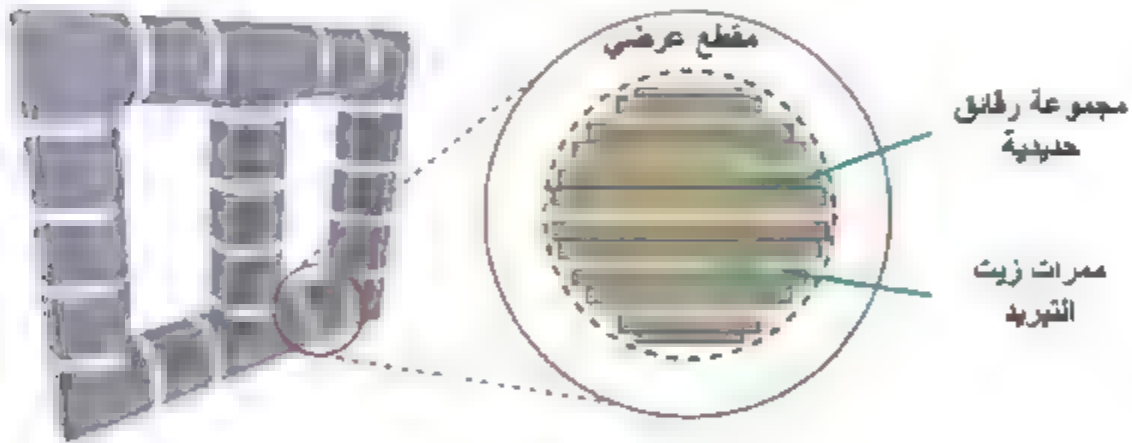
شعكه (0.23mm – 0.35mm) ملم ويمكن أن تكون أول من ذلك في بعض الأحيان، وتكون معرولة عن بعضها البعض بمادة الورنيش العنصوية أو غيرها من أنواع طلاء العزل والإفلا فائده من جعل القلب يتكون من هذه الرقتي إن لم تكن معرولة عن بعضها، وهذا العزل بين الرقتي تقروح قيمة مقاومته الكهربائية عدة أومات (Ohms) بما يكفي للحد من التيارات الدوامية (Eddy currents) في هذه القلب الحديسي.

لشكل (1-30) يوضح الفرق في ضياحات القلب لثلاث فئات (Grades) مختلفة من الحديد موجه الحبيبات (Grain-oriented) ذو السماكة (0.27 mm) ملم عند (50 Hz) هيرتز

في الإختيار المناسب لمعددة المكونة للقلب وجعلها على شكل رقائق ما هو إلا لرفع كفاءة المحول وذلك لتقليل الصدمات المستمرة وصدمات التيارات الدوامية مما يعني صدمات قسب أقل، حيث بلغ قيمه لصدمات النوعية لقصوى (Maximum specific losses) للمحولات المصنعة حديثاً هي (- 0.85 1 55 W/kg) و ط /كغم عند كثافته فيض مغناطيسي (1.7 T) تسلا و تردد (50 Hz) هيرتز.

○ أنواع القلب الحديدي من حيث التركيب:

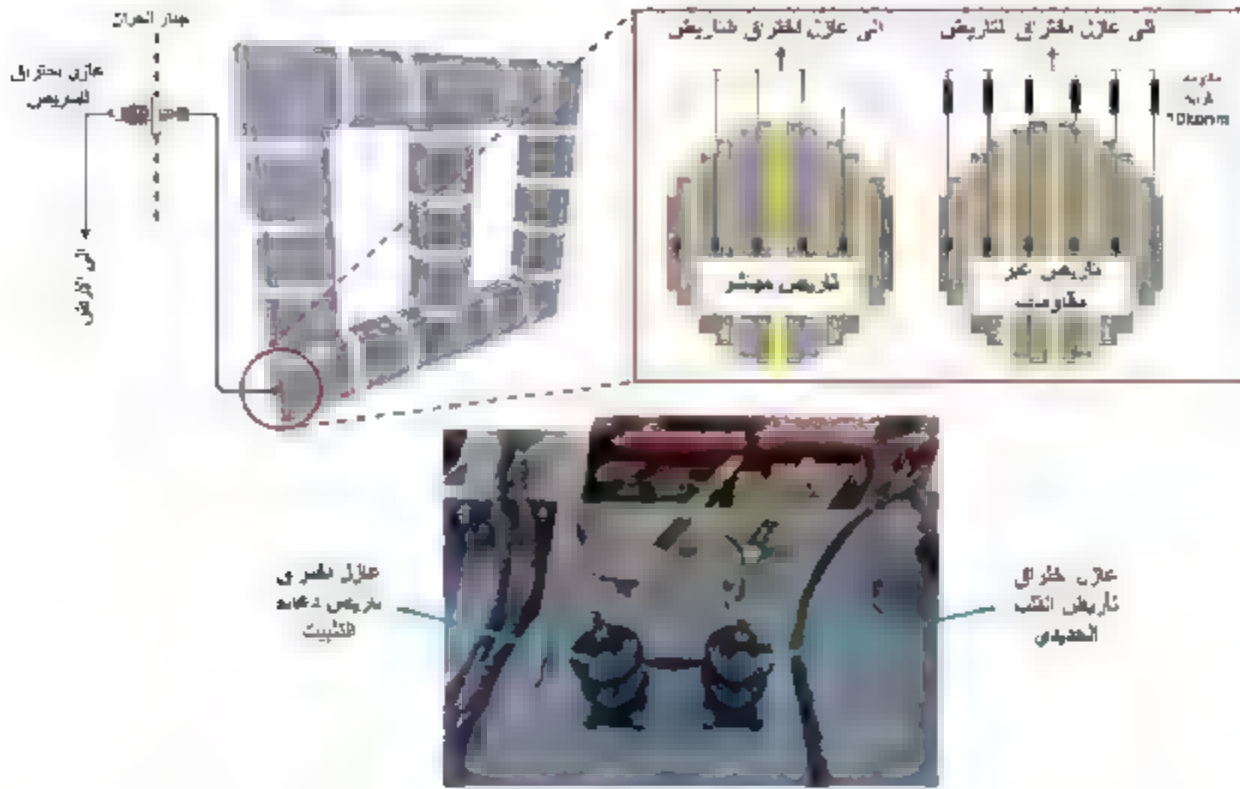
يتم تجميع الرقائق الحديسة (Laminations Stacking) لمكونة للقلب الحديسي وعزلها بصفة من لوريش (Varnish) أو غيرها من المواد العسوية وغير العسوية مثل الأعشيه الزجاجيه (Glass film) أو طبقات الفوسفات (Phosphate layers) التي يراوح سمكها من (0.002mm - 0.003mm) مم حتى نحصل على الشكل النهائي للقلب الحديسي من حيث السمك والأبعاد مع مراعاة ربط الرقائق لمكونة للقلب ببرس (Blots) أو بأحيسه (Bonds) لعازيات الدعم الميكانيكي كما يظهر في الشكل (1-28) حاسياً تم لتخلي عن طريقة ربط الرقائق ببراس (Bolts) لما آله من تكلفه تصعيبة، لإضافة إلى زيادة الصدمات في القلب وما قد تسببه من مخاطر إنبهار العزل بين هذه الرقائق.



الشكل رقم (1-31)

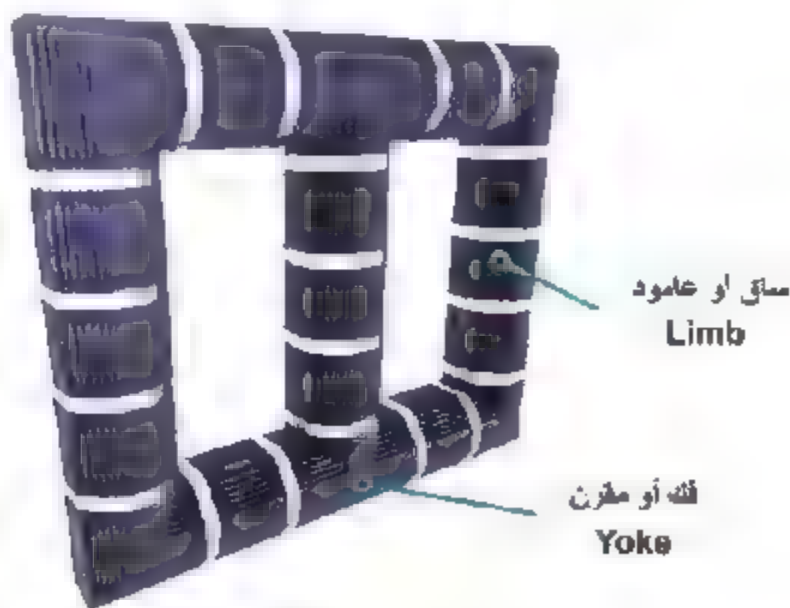
بعد تجميع الرقائق الحديسيه مع بعضها عادة ما يتم ترك فجوة بين مجموعات لصقائح العازيات تأمين ممرات لتبريد القلب بدخول الزيت من خلال هذه الفجوات أو ممرات كما هو موضح بالشكل (1-31)، ولكن هذه الممرات إذا كانت فولتية بظراً لظهور مقاومة سعوية بين مجموعات الصقائح، والداخل من هذه الممرات غير المرغوب بها، مما تاريس القلب الحديسي للمحول من بقعة واحدة فقط بموصل نحاسي لتجنب حدوث تيارات دوارة (Circulating currents) بالإضافة إلى تأسيس ممرات تيارات العطل الحدية بالقلب أو ما يسمى (Electrical fault path) للرجوع احصده مبعاً لظهور الفولت المرتفعة المصحبة لتيارات العطل مما قد يؤدي المود العرله الحاصية بهذا القلب ويتم عمية تاريس القلب بموصل التاريس الحديسي الفئصل بالقلب إلى خارج المحول عبر عازل بوسطه عازل جبرق (Core grounding bushing) و من ثم وصلها بالأرض مباشرة، ويكون التاريس إما مباشرة أو عبر

مجموعه مقاومته أو كما تُسمى بالـ (High resistive core grounding) كما هو موضح في الشكل (1-32).



الشكل رقم (1-32)

ويتكون قلب الحديدي من حرفين رئيسيين، الأول يُسمى الساق أو العمود (Limb) وهو الجزء العمودي من خرقة اللفائف الحديدية والجزء الثاني يُسمى 'أماك' أو المقرون (Yoke) وهو عبارة عن الجزء الأفقي من حزمة اللفائف الحديدية كما هو مبين بالشكل (1-33)

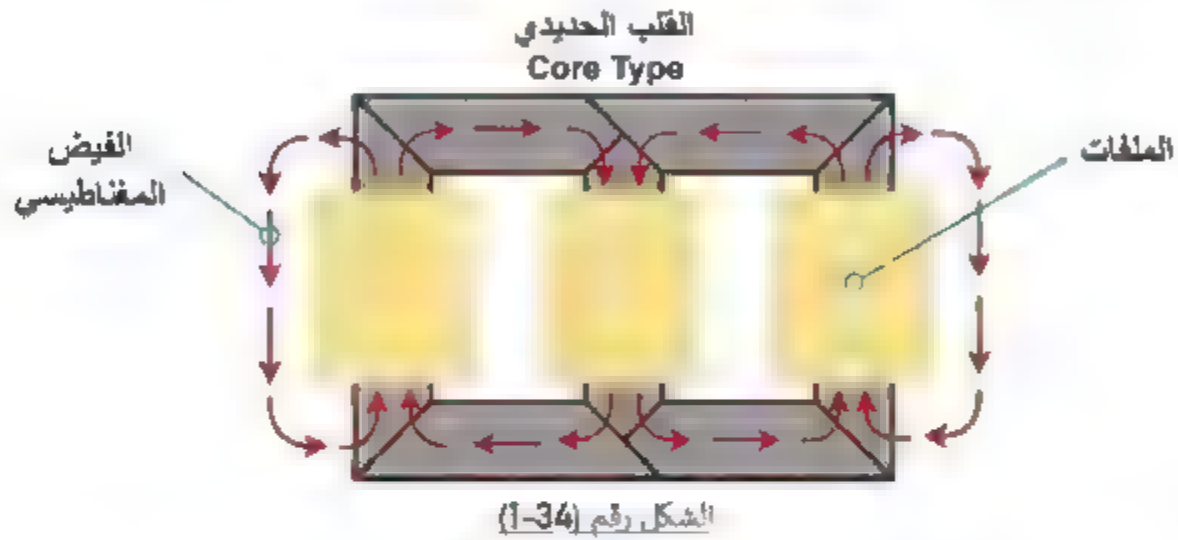


الشكل رقم (1-33)

وتنقسم أنواع القلب الحديدية من حيث عدد الأعمدة (Limbs) المحولات ثلاثية الطور (Three phase) إلى نوعين رئيسيين وهم:

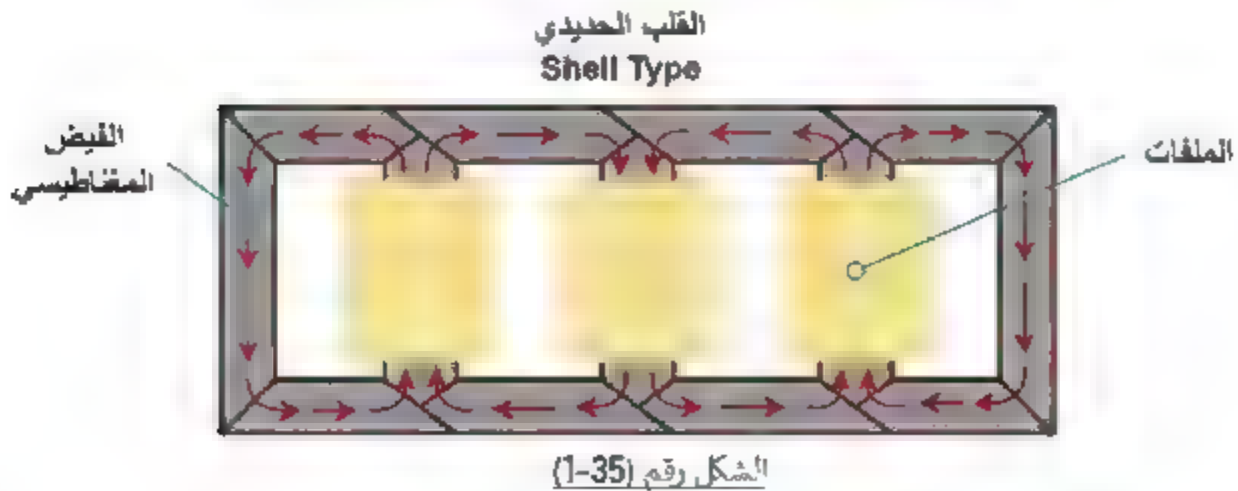
✓ القلب ثلاثي الأعمدة - Three limbs core

يُسمى هذا النوع بالـ (Core type) وتعد لأكثر شيوعاً المحولات لصغيرة، ويكون العمود (Limb) واحد (Yoke) لهما نفس مساحة المقطع العرضي كما هو مبين في الشكل (1-34)، ويعد هذا النوع بالحجم الصغير مقدرة بالـ (Shell type) ومن سببه أنه ذو مقدرة ميكانيكية أقل من نظيره الـ (Shell type) خاصة في مواجهة القوى الميكانيكية الناتجة عن أعطال القصر أو موجات البرق العابرة.



✓ القلب خماسي الأعمدة - Five limbs core

أدنى تُسمى هذا النوع بالـ (Shell type) وتعد الأكثر شيوعاً المحولات الأكبر حجماً، ويكون العمود (Yoke) له مساحة مقطع أقل من العمود (Limb) لأنك من مميزات هذا النوع هو أنه ذو وزن قليل مقدرة نظيره من نوع (Core type) وكذلك ذو قيمة ضاغط أقل ومقدرة ميكانيكية كبيرة ومن سببه السعر المرتفع نسبياً مما يجعله غير مُحلي بقتصادية المحولات الصغيرة.

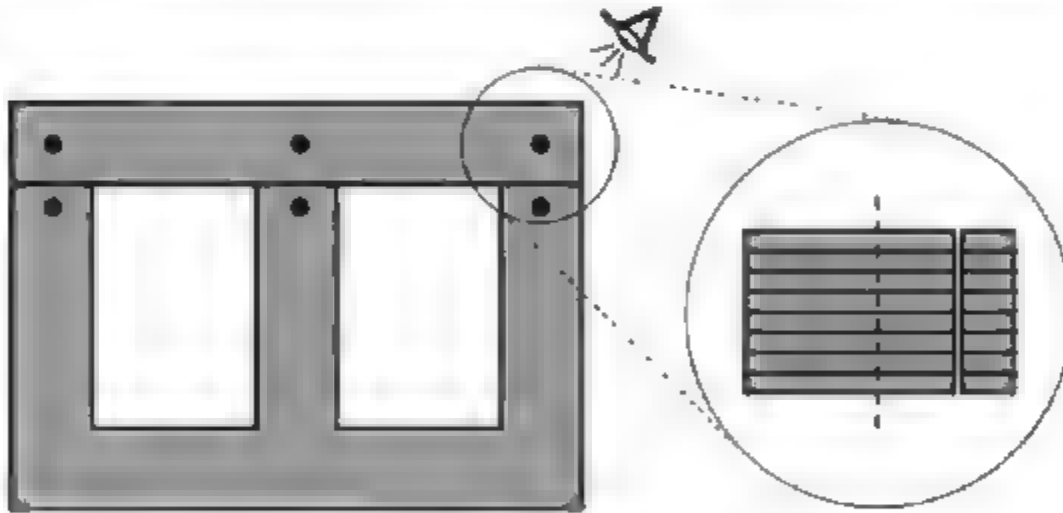


كما و يوجد أنواع أخرى مثل ال(4-Frame core design) وتُعرف من لأنواع الخصبة التي عادةً ما يتم استخدامها في المفاعلات الحثية (Reactors)

وعند تصنيع القلب الحديدي (Laminations stacking) لتحتوي فيه سم مراعى مسطحة إسقاء عامود (Limb) بالفاك (Yoke) وذلك لم الهند المسطحة مع أهمية قصوى، حيث يجب أن تكون ذات مُمانعة معادليسة قليلة (Low Reluctance) حتى لا تُعيق انتقال الفيض المعدل حثي بالإضافة إلى تأمين قوى ميكانيكية كافية عند نقطة الإنثناء أو ما يُسمى بال(Mechanical security) والضرو الأكثر شيوعاً لعمل الوصلة بين العامود (Limb) و افاك (Yoke) هي كالاني

✓ وصلة تناكبية – Butted Joint

تُعد هذه الطريقة لأكثر بساطة وأزول كلفة تصنيعه وساه ما يتم استخدامها في المحولات الصغيرة، وتُعد الحديد غير موجه الحبيبات (Non-Oriented Grain Steel) لأكثر استخداماً في هذه الطريقة من عمل الوصلات، إلا أن هذه الوصلة ذات قوة ميكانيكية متدنية بالإضافة إلى مُمانعة معادليسة مرتفعة بسبب (High Reluctance) عند نقاط الإنثناء الوصلات وذلك لضرورة مرور الفيض المعطليسي من خلال الفجوة الهوائية ذات المقادير المعطليسية المتدنية (Low Permeability) في منطقة الوصلة الموضحة في الشكل (1-36)، مما يزيد من قيمة صيغته القلب الساحة من زياده تيار المعدلة للارة المتعب على هذه الممانعة

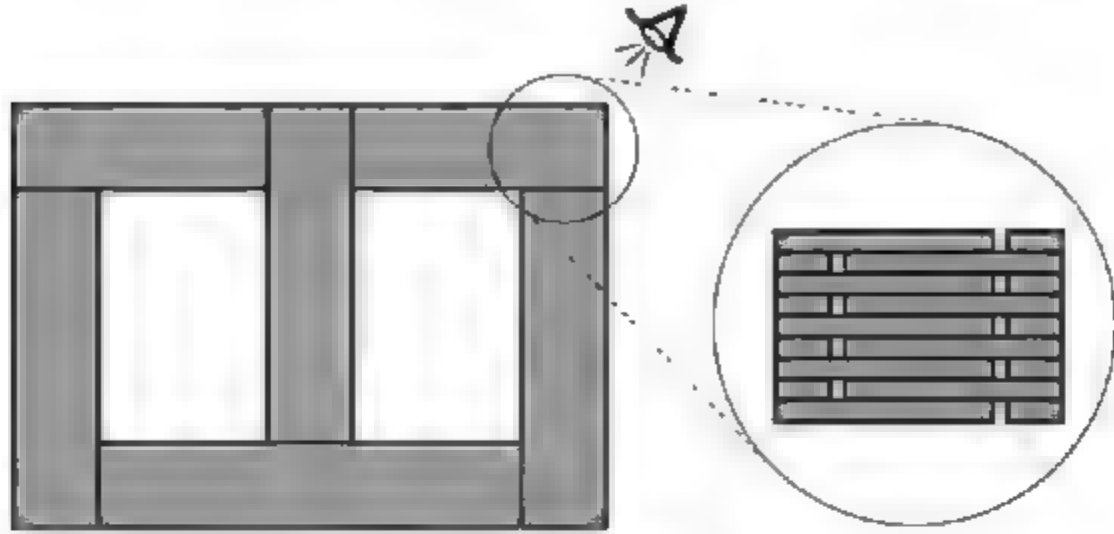


الشكل رقم (1-36)

✓ وصلة تناكبية متناخلة – Interleaved Non-Step Butted Joint

تُعد هذه الطريقة مثل الطريقة السابقة إلا أنه يتم عمل ثل (Interleaving) بين ابروثق المُكوّن بحيث كما هو موضح في الشكل (1-37)، هذه الوصلة ذات مُمانعة معطليسية (Reluctance) عند نقطة الإنثناء الوصلات عالية نسبياً ومُعقّدة اسردن الفيض داخل القلب وذلك لقلة المسارات أمام الفيض المعطليسي بما من خلال الفجوة الهوائية أو عبر رقائق الفلأصقة بخبرات محدودة، حيث يُمكن الفيض المرور بالرفاقه الحلاصقه من أعلى أو أسفل الرفاقه حثية للفيض فقط، مما يزيد من قيمة صيغته القلب الساحة عن زيادة تيار المعدلة

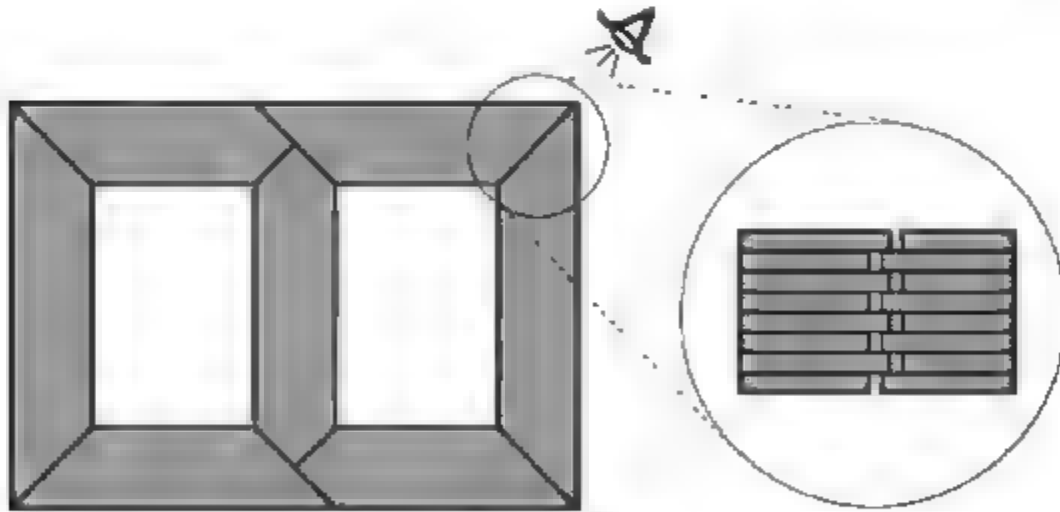
اللازم انتعلب على هذه الممارسة مقارنة مع طرق الوصلات الراوية الحديثة (ذات لزاوية 45°) أو ما تُسمى بالـ (Mitred Joints)



الشكل رقم (1-37)

✓ وصلة زاوية متداخلة ذات خطوة واحدة – Interleaved Non-Step Mitred Joint

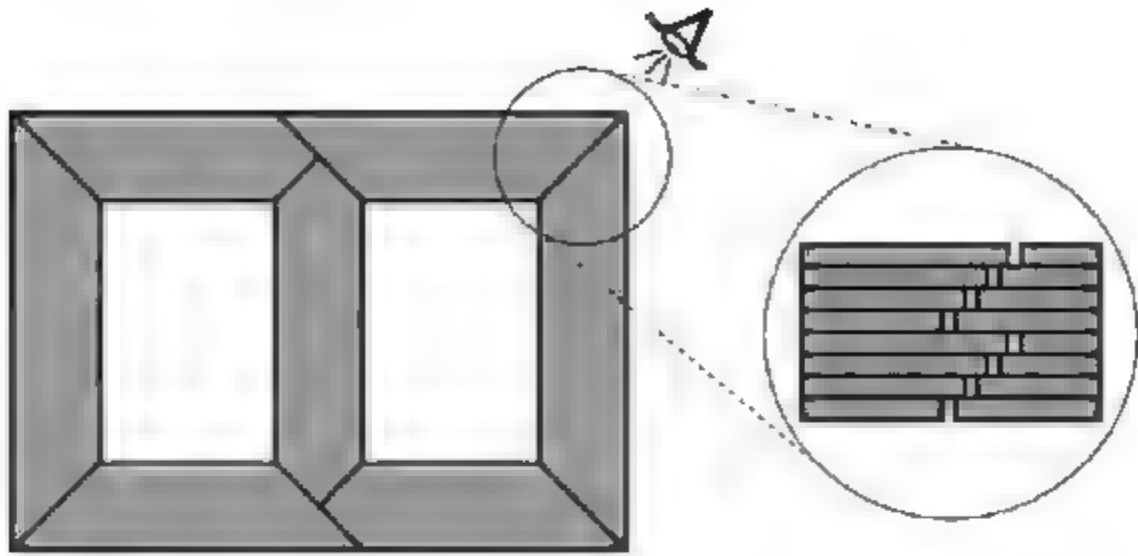
تُعد من الأنواع المنتشرة وذات شُماعة معدنية (Reluctance) أقل من سائقاتها عند تقاطع الإلصاق الوصلات مما يُضلل قيمة تصيغات العمل، ويُعد الحد من موجه الحساسات (Oriented grain steel) الأكثر استخداماً في هذه الطريقة من عمل الوصلات إلا أنها ذات تكلفة تصنيعية أعلى من الطرق السابقة. الشكل (1-38) يوضح كيفية تجميع هذا النوع من السبب لحددي.



الشكل رقم (1-38)

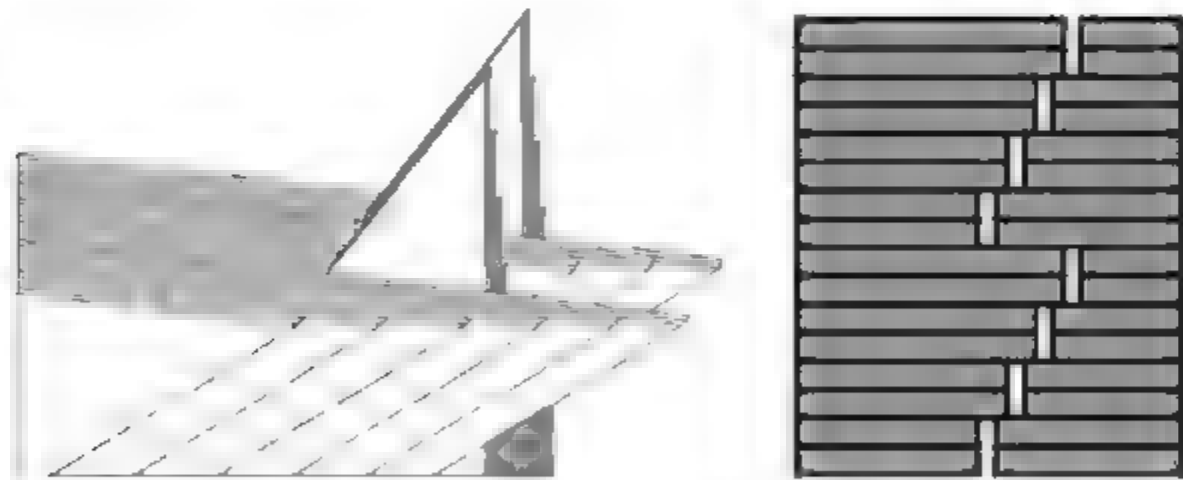
✓ وصلة زاوية مُتعددة الخطوات – Step-lap Mitred Joint

تُعد من الأنواع الأكثر انتشاراً بالمقارنة مع الطريقة السابقة، وتكون الممارسة المعدنية (Reluctance) قليلة عند تقاطع الإلصاق الوصلات مما يُضلل من قيمة تصيغات العمل، إلا أنها ذات تكلفة تصنيعية عالية. الشكل (1-39) يوضح كيفية تجميع هذا النوع من السبب لحددي.



الشكل رقم (1-39)

كما أن عدد الرفائق في الخطوة الواحدة يؤثر في مقدار صياغات القرب، بحيث كلما قل عدد هذه الرفائق أدى لصياغات أقل، كما هو الحال في الرفافة الواحدة لكل خطوة ذات لصياغات لأقل بمقدار 7% بحيثية عند الرفائق لأربعة لكل خطوة. بذلك عادة ما يكون التصميم ذو رفافة واحدة لكل خطوة كما هو موضح في الشكل (1-39) أو خطوتين كما هو موضح في الشكل (1-40) أو أكثر من ذلك.



الشكل رقم (1-40)

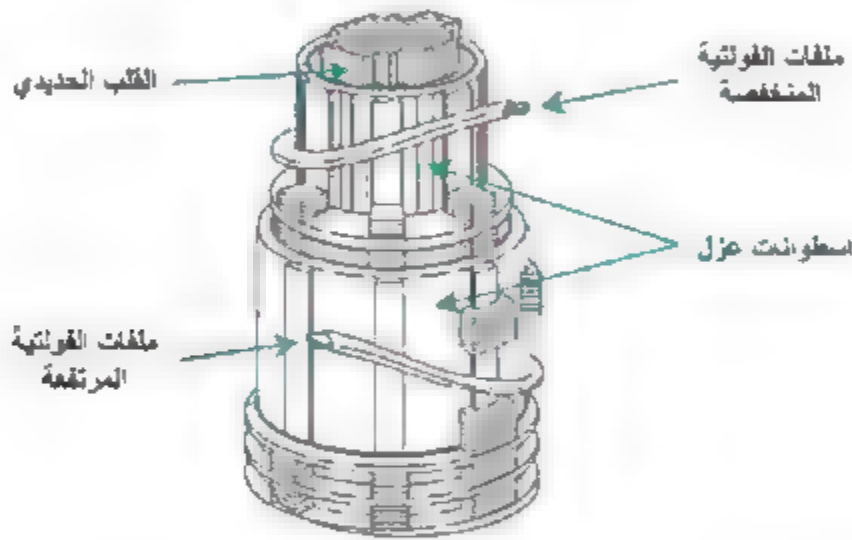
وعند تجميع الصفيح بأي من الطرق سابقة الذكر يجب مراعاة أن تكون الفتحة لهو ثيه منطقة بمقدار لعمود (Lumb) بالغك (Yoke) أقل ما يمكن، حيث أن ترك فتحة بمقدارها (1.5mm) ملم من شأنه زيادة لصياغات بمقدار (1% - 2%)، حيث أنه عن نظيرتها في حال عدم وجود فتحة. وهناك أيضاً الكثير من طرق عمل الوصلات بين لعمود (Lumb) والغك (Yoke) ولكن الصرق مدونه انيكر نعد لأكثر إشعاراً



ملحوظة (1-7): وحتب السوييه إلى أن أتي كلمة حديد وردت في سياق اشرح قُصِد بها الحديد (Iron) أو الصُلب أو كما يُسمى لفولاذ (Steel) على حد سواء وذلك لميسر اشرح، أما من الناحية المعنيه فيهما يفترقان بالتركيب فالحديد عنصر، أما الصلب أو الفولاذ فهو سبيكه حيث أنها تتكون من حديد و كربون.

• الملفات - Windings

حسب اللجنة كهروتقنية الدولية (IEC) تم تعريف الملفات (Winding) على أنها مجموعة من اللفات (Turns) المرصطة ببعضها، و تم تعريف اللفه (Turn) على أنها موصل (Conductor) أو مجموعة من الموصلات المكوّنة على شكل حلقة (Loop) وهذا سبق ثمكن معرفة أن الملفات خاصة بالمحول ما هي إلى مجموعة من الموصلات والوظيفة الرئيسية المصطة بهذه الملفات هي حمل التيار داخل المحول بالإضافة إلى تركيز المجال المغناطيسي، أما عن هذه التراب



الشكل رقم (1-4)

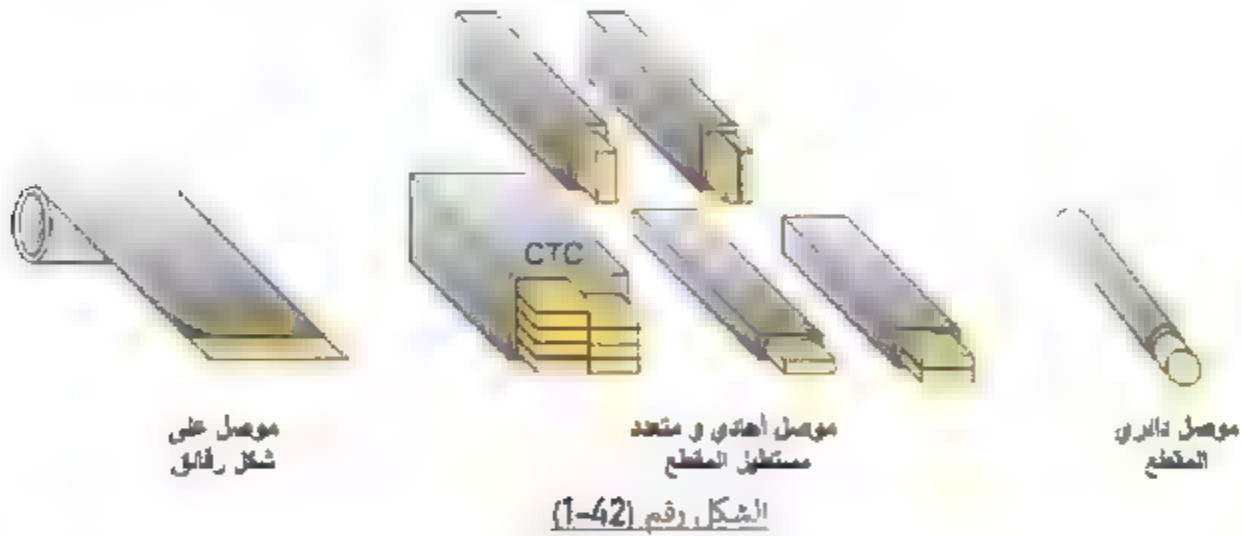
ويعبر النحاس من أكثر المواد المستخدمة شيوعاً كموصلات داخل المحولات إلى جانب الألمنيوم في بعض الحالات، إذ يتم إختيار الموصل النحاسي أحدين يعنى لإعتباره ليعه للمحول ونياره وحدود الارتفاع بالحرارة بالإضافة إلى القوى الميكانيكية التي يجب على الملفات تحملها أثناء التشغيل الطبيعي للمحول وأيضاً أثناء حدوث الأعطال.

وكم هو معروف فإن هذا الموصل النحاسي هو المسار الحامل للتيار داخل المحول، لذلك تم إختيار نحاس على وجه الخصوص لما له من مقاومة كهربائية منخفضة (Low resistance) تسمح بمرور التيار بأقل قدر من الخسائر الصائعه على شكل حرارة، بالإضافة إلى ما يملكه من خصائص ميكانيكية تساعد على مقاومة القوى الميكانيكية مؤثرة عليه أثناء دورة حياة المحول ضمن الظروف التشغيلية الطبيعية وعبر لطبيعته كحدوث أعطال القصر (Short circuit faults) وما ينتج عنه من قوى ميكانيكية كبيرة تؤثر على الملفات كما ويُفضل استخدام النحاس من نوع (Cu-ETP) كما تم تعريفه في الـ (EN 13601) أو ما يُعادل في الخصائص، حيث نصن موصله هذا النوع من النحاس إلى قرانة (100%) (International Annealed Copper Strand - IACS%) و يعادل مقاومته قرانه الـ (0.01724 $\Omega \cdot mm^2 / m$ at

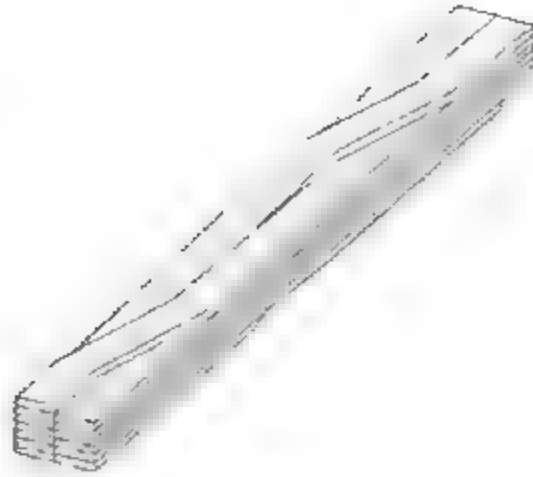
20°C)، كما ويتم مُعالجته لرفع قوة مقاومته الإجهاد الميكانيكي لتصبح أكثر من (220MPa) ميعا دسكال حيث تُعتبر هذه المادة (Silver-bearing copper - CuAg). صممت رافعات من النحاس المُستخدم في صناعة المصبات (Cu-ETP) سابق الذكر، حيث تُعطي مقاومة ميكانيكية أكبر للنحاس بالإضافة إلى زيادة الموصلية الحرارية والكهربائية كما وأنها مقاومة للتآكسد أيضاً

• أنواع الموصلات المُكوّنة للملفات

غالبية المحولات الكهربائية تكون ملفاتها من موصلات ذات مقطع مسنن ليشكل وذلك لتقليل حجم المصبات و الوصول إلى التوزيع المثالي للمساحة داخل المحول، وفي بعض التصميم يتم استخدام الموصلات ذات المقطع المائري أو موصلات على شكل صائح (Foil) كما هو الحال في محولات لصغيرة و الموضح في الشكل (1-42) وذهب مُصممو المحولات إلى جعل هذه الموصلات ذات مساحة مقطع صغيرة نوعاً ما، بحيث يراوح سمكها من (1mm - 5.6mm) وله و عرضها من (2.8mm - 16mm) مما وذلك لتقليل من صدمات التيار الدائمة (Eddy currents) داخل هذه الموصلات نتيجة لبعض المعاديسي المتعرب مع تراجعة عدم جعل هذه الموصلات ذات مقطع صغير جداً مما يزيد من مقاومتها الكهربائية



كما سبق بيّنا أن مساحة مقطع الموصل الصغيرة تعيد الأذى من التيار الدائمة (Eddy currents) داخل هذه الموصلات وفي سطح عني من صاعات، ولكن نفس الوقت كلما تضررت مساحة مقطع الموصل زادت مقاومته الكهربائية مما دفع مُصممو المحولات إلى جعل المصبات تكون من مجموعة من الموصلات المتوازية لتحمل التيار الإسمي لهذا المحول والذي بدوره أدى لظهور تيارات دوارة (Circulating currents) داخل هذه الموصلات المتوازية، والتغلب على هذه التيارات الدوارة تم عمل تدابير في أماكن هذه الموصلات (Transposition) عند نهايات الملفات وذلك لتقليل من الفرق في المقاومة المتولدة في هذه الموصلات نتيجة لتعرضها لمجال مغناطيسي مختلف خاصة في نهايات المصبات كما هو موضح في الشكل (1-43) حيث تُسمى هذه الطريقة بـ (Continuously Transposed Cable - CTC)



الشكل رقم (1-43)

لجدول أدنى يبين إليه حسب نوع الموصل وفقاً لعدد لفات المحول ومقدار التيار المار في مسافته

الجدول رقم (1-1)

عدد اللفات	مستوى التيار	
	قليل	متوسط
قليل	روانق / مستطيل	CTC
متوسط	موصل مستطيل	موصل مستطيل
كبير	موصل دائري	موصل متعاود

كما ويستخدم الورق ذو الطبيعة السليولورية (Cellulosic) لعازات عزل هذه الموصلات (Copper strands)، بحيث يتم لف الموصل بعدد طبقات من الورق تتراوح سُمكها من (0.05mm - 0.13mm) مع

وعادة ما يتم استخدام نوع واحد من الورق لعزل الموصلات أو يتم خلط أكثر من نوع ويُصا يمكن استخدام ورق ذو مقاومة حرارية مرتفعة مثل (Nomex) في بعض الحالات

وبغرض لقوتية ذات لمصاير القليل بين الموصلات (Voltage per turn) يمكن عزل هذه الموصلات عن طريق طلائها بمادة لوريش (Enamel coating) عوضاً عن الورق لإتروح سمك هذا الطلاء قرابة (0.1mm) ملم ويمكن زيادة سُمكه إذا لزم الأمر.

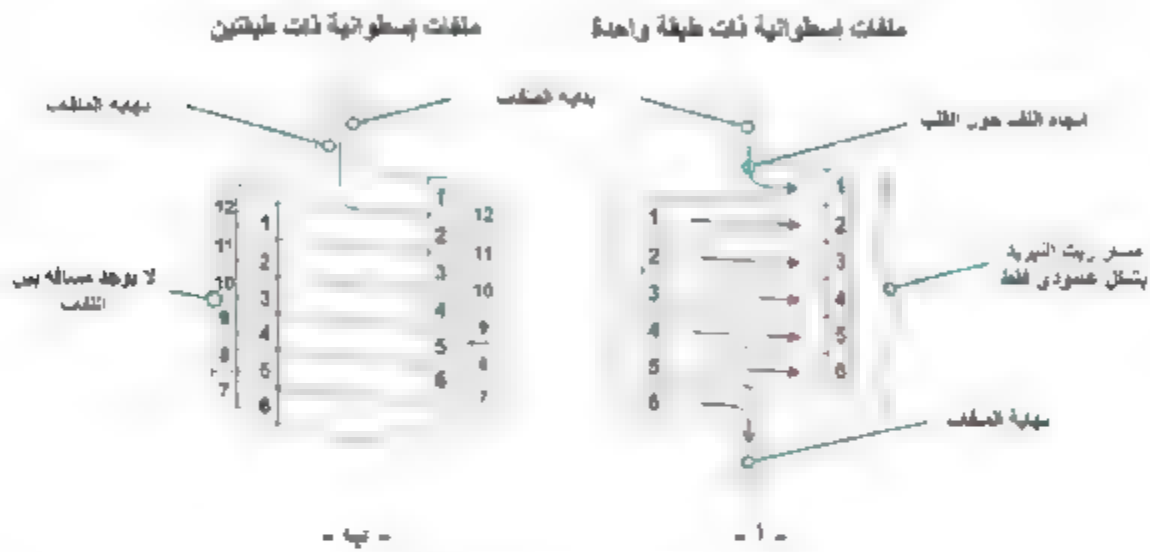
• أنواع المنفات من حيث التركيب

يتم تركيب المنفب حول الناموس (Limb) للقلب الحديدية بحيث تكون ملفات اسوائية المنفصة لأقرب للقلب الحديدية وملفات العواصة المرتفعة فوقها وذلك لضمان أكثر من إيقا من العيص لمعاطيسي بين هذه المنفات بالإضافة إلى تقليل العزل اللازم لعزل منفب لقوتية المرتفعة عن القلب

لحندسي المحول كما هو موضح في الشكل (1-41) وهناك عدة أنواع لطرق لف الملفات و بعد الأنوع الأربعة التالية الأكثر شيوعاً:

■ الملفات الطباقية أو الإسطوانية - Layer/Barrel winding

تعتبر هذا النوع من أسسط أنواع طرق لف حيث يتم لف الموصلات فوق سطح مستو بشكل متتابع ويتم براء مساحه بين طبقات الملف (Layers) في حال كانت الملفات تتكون من أكثر من صفة تأمن ممر تبريد عامودي في الطبقات كما هو موضح في الشكل (1-44)، وعادة ما يتم استخدام هذه الطريقة باللف للمحولات ذات التيار المنخفض وذلك لإنخفاض كثافة سريان عامودي فقط، حيث لا يوجد ممرات تبريد أفقيه بين الملفات.

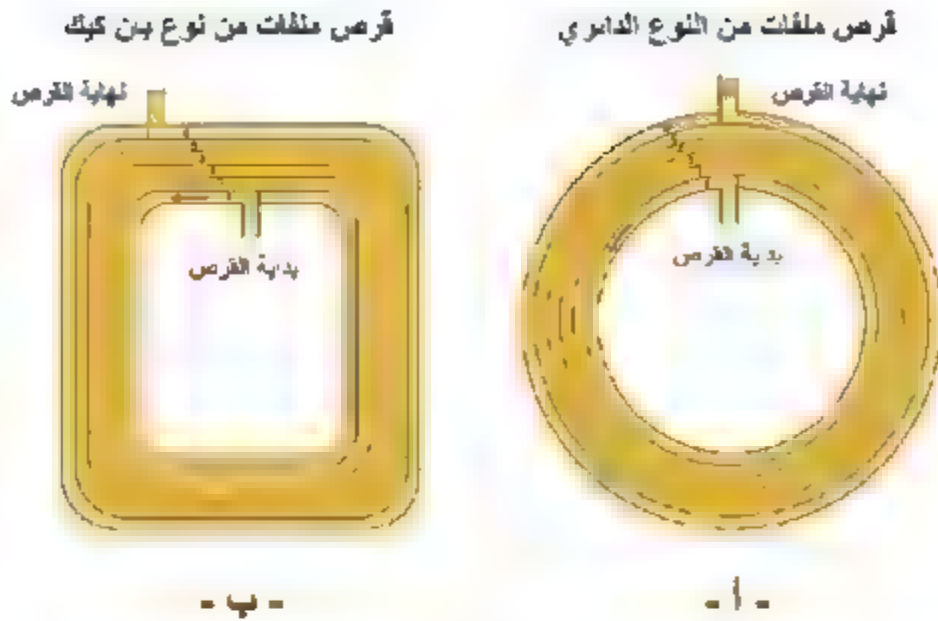


الشكل رقم (1-44)

■ الملفات الحلزونية - Helical winding

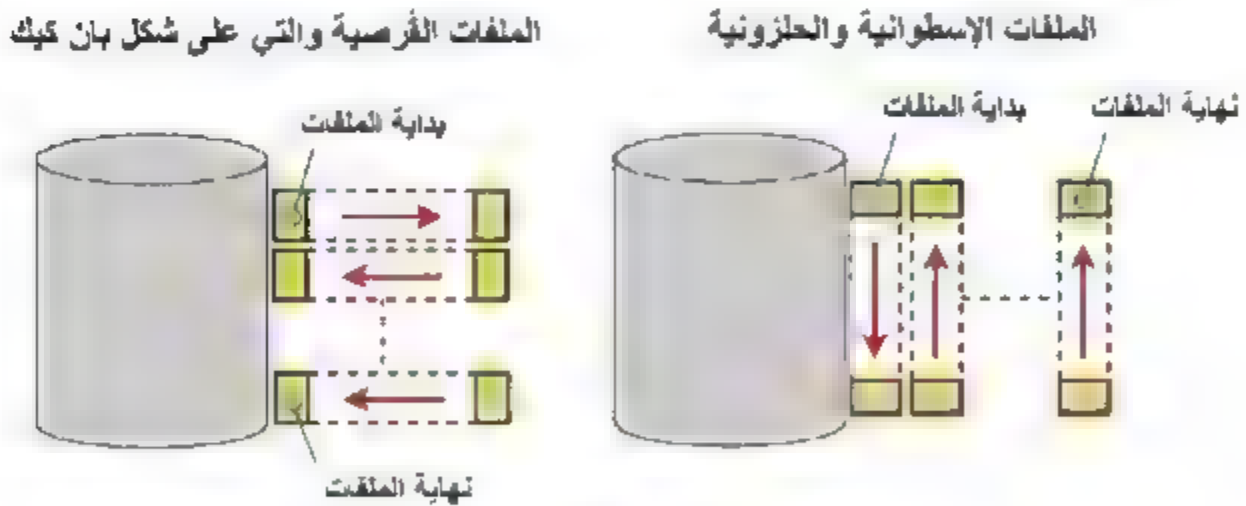
يتم لف الموصلات بعرض الطريقة لسانحه (Layer winding) مع مراعاة ترك مساحه بين الملفات بوضع خوارب من الألواح المضغوطة (Pressboard) على شكل دوايس (Spacers) ومساحة بين طبقات الملف (Layers) في حال كانت الملفات تتكون من أكثر من صفة وذلك تأمن ممر تبريد أفقي - بين الموصلات أو صفات - وممر آخر عامودي - بين طبقات الملف - كما هو موضح في الشكل (1-45)، وعادة ما يتم استخدام هذه الطريقة باللف للمحولات ذات التيار المرتفع أو بمعنى آخر ذات الفولتيات المنخفضة.

كما ونحذر الإشار إلى أنه في هذا النوع من طرق لف عدة ما يتم استخدام الموصلات من النوع (CTC) بشكل منفرد أو متعدد للحصول على مساحة مقطع الموصل المراد.



الشكل رقم (1-47)

ومنهُ يُمكن ملاحظة أن اتجاه الملف، يُتَبع الأضلاع السابقة الذكر يُكون بالاتجاه الموضح بالشكل (1-48).



الشكل رقم (1-48)

• دعائم تثبيت القلب - Core Clamp

تكون هذه الدعائم المعدنية على شكل مشبك وظيفتها الأساسية تطبيق قوى شد ثابتة على السلب الحليدي و الملفات وذلك لحماية هذه الأجزاء من القوى المؤثرة عليها أثناء عمل المحول في الظروف التشغيلية الطبيعية أو أثناء تعرض المحول لأعطال اقصر (Short circuit faults) وما ينتج عنه من قوى ميكانيكية تؤثر على الملفات والقلب الحليدي.



الشكل رقم (1-49)

حيث تكون هذه الدعائم على شكل إطار (Frame) ويقرء شد تلك (Yoke) لثبوتها وأعلى وملتصقات كما هو مبين في الشكل (1-49). ويكون هذين الإطارين العلوي والسفلي مربطان ببعضهما بأعمدة وظيفتها تطبيق قوى شد على أعمدة المحول (Limbs) وكذلك هناك وضيفة ثانوية لهذه الدعائم وهي توجيه الزيت داخل الملفات لزيادة كفاءة التبريد في حال استخدام تصميم تدفق الزيت الموجه داخل الملفات (Directed Oil Flow - DOF) كما سيتم شرحه في نظام التبريد للمحول لاحقاً.

كما ونحذر لإشارة إلى ضرورة تأريض هذه الدعائم المعدنية من نسخة واحدة فقط بموصل نحاسي تجنب حدوث تيارات دوارة، وذلك بواسطة توصيل هذه الدعائم بموصلين ومربور هذه الموصل إلى حرج المحول عبر حرج بواسطة عازل حثري في (Core Clamp Grounding Bushing) و من ثم وصلها بالأرض مباشرة (Solidly grounding) كما هو موضح في الشكل (1-32)

5.3 مُغيّر الخطوة - Tap Changer

ويسمى نصاً مُغيّر الجوتية ويُستخدم لتنظيم فولتية مخرج المحول وحدث بالتحكم بعدد لفات ملفات المحول ذات غولبية أمرشعه أو المنخفضه أو كلاهما ما يترتبة أو النقصان، بحيث يقوم بالمحافظة على مستوى فولتية مخرج ثابتة في حال حدوثها نتيجة التغير عند توليفة المدخل أو نتيجة لمرور تيار الحمل وما ينتج عنه من صدأ داخل المحول تؤدي لحدوث انخفاض في مقدار فولتية المخرج مثل لصعاب الحاسبة المتاحة عن مقاومة ملفات المحول أو الصعاب عبر الفعالة المتاحة عن محدة سعرات المحول (التيض المُسرّب) وهذا الهبوط في الفولتية يُسمى بالـ (Regulation) كما ونحذر الإشارة إلى أن مقدار الهبوط في فولتية المخرج الناتج عن الصعاب الحاسبة (Resistive voltage drop) أقل نوعاً ما من مقدار الهبوط في فولتية المخرج الناتج عن الصعاب غير الفعلية (Reactive voltage drop)



ملحوظة (1-8): يوجد وظيفه أخرى لمُعيّر الخطوة إلى جانب التحكم بالعولتية في حال تركيبه على محولات اقدره الموصولة بالمولدات (Generator Step-Up Transformer - GSUT) فلا وهي التحكم بمقدار اقدره غير فعالة (Reactive power) المُصنّرة أو المُستحرة من الشبكة عبر هذا المحول

أما فيما يخص مكان تركيب مُعيّر الخطوة فإنه بالعادة يتم تركيبه على ملفات العولتية المرتفعة (HV winding) وذلك يعود لعدة أسباب أهمها.

- ✓ تيار ملفات العولتية المرتفعة عادة ما يكون قليل مقارنة تيار ملفات العولتية المنخفضة مما يتيح وصير وقصير المقادير الإضافية بشكل أكثر اماناً وبقوة كهربائية أقل يُمكن إحصاءه بسهولة
- ✓ ملفات العولتية المرتفعة تكون مُثبتة خارج ملات العولتية المنخفضة مما يُسهّل صيانه مُعيّر الخطوة في حال وجود عطل.
- ✓ حددت معاد العولتية المرتفعة أكثر من ملفات العولتية المنخفضة مما يُعطي مساحة أكبر لتركيب مُعيّر الخطوة.
- ✓ عادة ما تكون ملفات العولتية المرتفعة موصولة بطريقة النجمة (Star - Y) مما يُسهّل تركيب مُعيّر الخطوة وذلك بوجود نقطة التعادل (Neutral point)

ولا تعني لاسباب سابقة الذكر عدم إمكانية تركيب مُعيّر الخطوة على ملفات العولتية المنخفضة، بل يُمكن ذلك في بعض الحالات الخاصة.

مُعيّر الخطوة - Tap Changer

مفتاح التحويل
Diverter Switch
محدد الخطوة
Tap Selector



أشكال رقم (1-50)

وقبل الخوض في مبدأ عمل مُغيّر الخطوة لا بُد من معرفته تصنيفاته وفقاً لأوجهه التشغيلية (Operational aspects)، حيث ينقسم إلى نوعين رئيسيين.

✓ (On-load Tap-changer OLTC)

يُمكن تعريف وصفتة هذا النوع من مُغيّرات الخطوة بالنّسبة إلى انتقال من خطوة لأخرى أثناء عمل المحول أي وهو مُكهرب (Energized) ويُرمز له بالرمز (OLTC)، وفي هذا النوع عادة ما يكون فرق الجولته بين الخطوات المتتالية أو ما يُسمى بفولتية الخطوة (Step voltage) ما مقداره $(\pm 0.8\% - \pm 2.5\%)$ بحدّة من فولتية الإسمية، كما ويكون عدد الخطوات (Taps) قُرْب 17 خطوة أو أكثر من ذلك للمحولات القُدرة الكبيرة وتختلف من محول لآخر وفقاً لعدة معايير

✓ (Off-circuit أو De-energized Tap-changer OCTC or DETC)

لا يُمكن تعريف وصفتة هذا النوع من مُغيّرات الخطوة إلا في حالة كان المحول غير مُكهرب (De-energized) ويُرمز له بالرمز الأساسي وهما (OCTC أو DETC)، وفي هذا النوع عادة ما يكون فرق الجولته بين الخطوات المتتالية أو ما يُسمى بفولتية الخطوة (Step voltage) ما مقداره $(\pm 2.5\% - \pm 5\%)$ بحدّة من فولتية الإسمية، وفي هذا النوع عادة ما يكون عدد الخطوات (Taps) من 3 (إلى 5) خطوات فقط.

• أنواع مُغيّرات الخطوة من نوع (On-load Tap-changers OLTC)

يُمكن تصنيف مُغيّرات الخطوة (Tap-changers) من نوع (On-load) وفقاً لعدة أوجه منها ما هو حسب آلية العمل ومنها ما هو تركيبه كالآتي.

○ حسب آلية العمل

تُصنّف مُغيّرات الخطوة وفقاً لآلية العمل (Principle of operation) إلى ثلاث أصناف رئيسية:

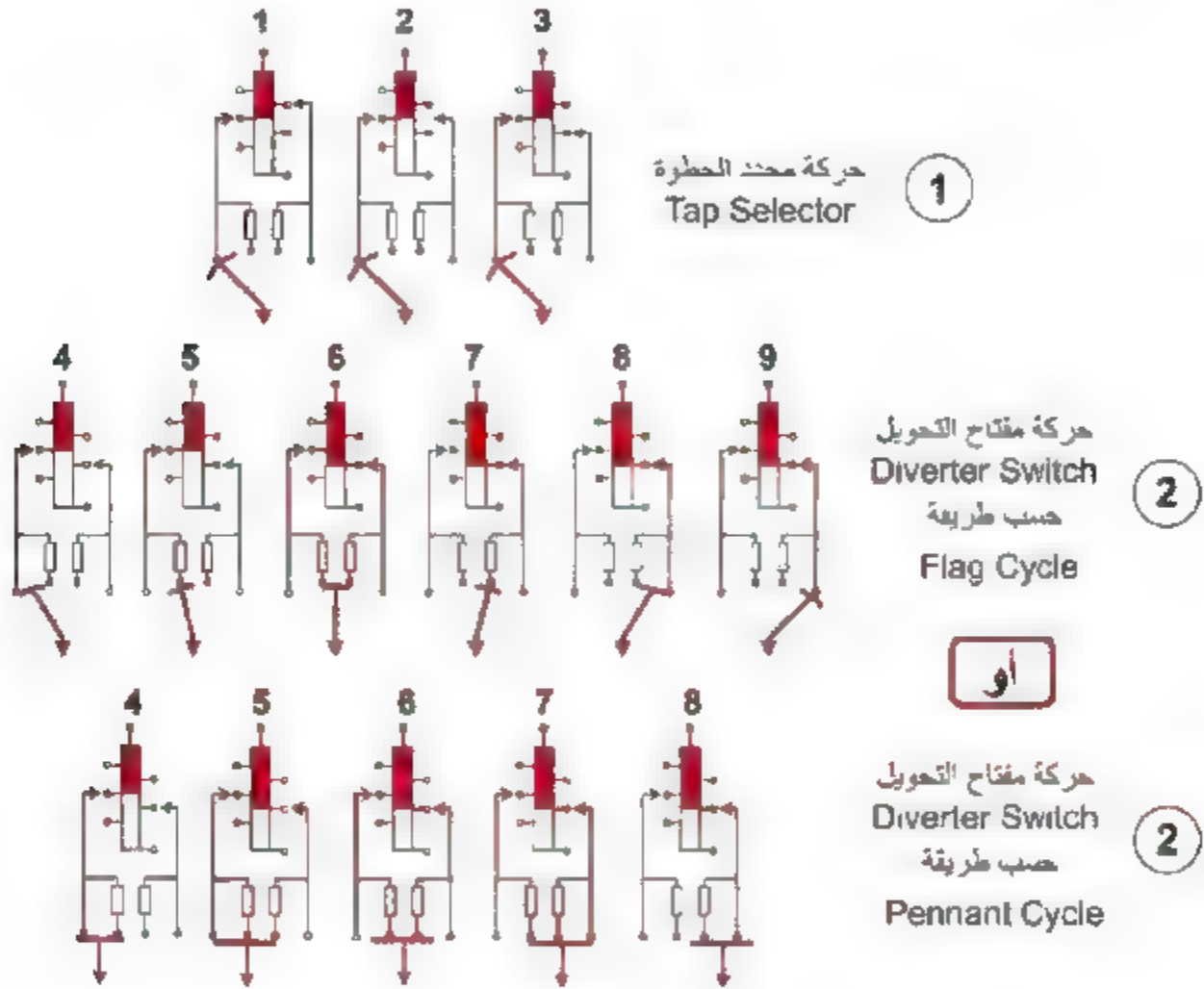
- مُغيّرات خطوة (Tap-changers) ذات مُحدد خطوة (Tap selector) مُنفصل (Separated) عن مفتاح التحويل (Diverter switch) ويُسمى (Resistive Diverter Switch OLTC):

بم تحديد الخطوة الفراد المحوّل عليها يستخدم مُحدد خطوة (Tap selector) دون حمل (Load free) وبعد ذلك يتم تحويل مسار التيار باستخدام مفتاح تحويل (Diverter switch) بطريقة (Flag) أو بطريقة (Pennant) كما يظهر في الشكل (1-51)

ويكون مفتاح التحويل (Diverter switch) في حجرة ريت متصلة عن حجرة الرّت الرئيسي، أما فيم يخص مُحدد الخطوة (Tap selector) فإنه يكون مع مفتاح التحويل بنفس حجرة الرّت، أو مع الملتفات في الحجرة الرئيسي للمحول، ويعود السبب وراء جعل مفتاح التحويل (Diverter

switch، في خُجرة منفصلة 'تُحبس' بلوث زيت 'آخر' 'رئيسي' 'محول' 'داكرون' وغيره من 'العزب' 'لنسخة' من حركة هذا 'المفتاح' 'وم' 'تنتج' عنها من 'شدة' 'جوس' 'كهربائي' 'ونقاط' 'إحماء'

وفي هذا 'النوع' من 'مُعيّرات' 'الخطوة' 'يقوم' 'محرك' 'كهربائي' 'بتحريك' 'مُحدد' 'الخطوة' (**Tap selector**) 'وكذلك' 'يقوم' 'بشحن' 'الزيت' (**Spring-loaded mechanism**) 'المسؤول' عن 'تحريك' 'مفتاح' 'التحويل' (**Diverter switch**) 'برس' 'حركة' 'تُقدر' 'من' (**40ms - 60ms**) 'ملي ثانية'

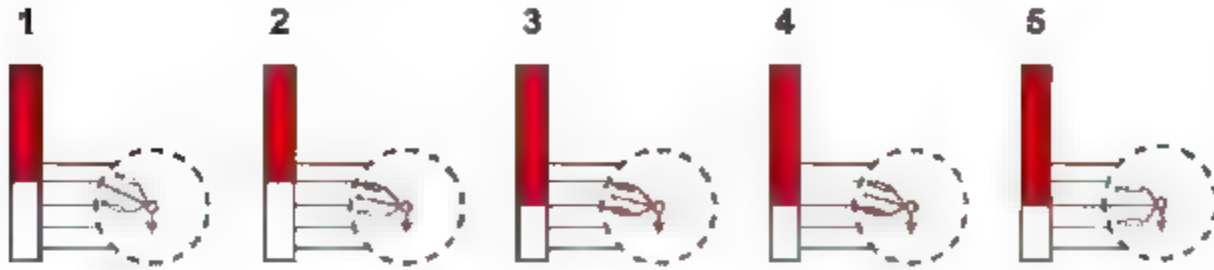


الشكل رقم (1-51)

- مُعيّرات الخطوة (**Tap-changers**) ذات مُحدد خطوة (**Tap selector**) مُدمج (**Combined**) مع مفتاح التحويل (**Diverter switch**) ويُسمى (**Resistive Selector**) (**Switch OLTC**):

حيث أنه يُعدّ 'خطوة' و 'التحويل' عليها 'منسج' 'لوقت' 'كف' 'هو' 'موضح' 'بالشكل' (1-52)، 'كف' 'ويكون' 'مُحدد' 'الخطوة' (**Tap selector**) مع مفتاح التحويل (**Diverter switch**) في نفس 'خُجرة' 'زيت' 'واحي' 'يكون' 'منفصلة' 'عن' 'زيت' 'الآخر' 'الرئيسي' 'للمحول'. و 'بمقار' 'هذا' 'النوع' 'نا' 'سعر' 'لأقل' 'نسبياً' 'مقارنه' 'النوع' 'سابق' 'لا' 'كر' (**Diverter switch OLTC**)، 'وسم' 'يُستخد' 'منه' 'علاوة' 'المحولات' 'متوسطة' 'المقار'.

وفي هذا النوع من مُعَيَّرات الخطوة يتم 'تحويل' الخطوة واحدة (One Step) باستخدام محرك كهربائي لشحن الزنبرك (Spring-loaded mechanism) المسؤول عن عملية التبديل برسم حركة بُعْد (40ms - 180ms) ملي ثانية.



الشكل رقم (1-52)

- مُعَيَّرات الخطوة (Tap-changers) ذات مفتاح تبديل رئيسي (Change-over switch): يتم استخدام مفتاح التبديل الرئيسي في حال كان مُعَيَّر الخطوة من نوع التبديل العكسي (Reversing changeover OLTC) أو من نوع التبديل ذو الخطوات الكبيرة والصغيرة (Course/Fine tapping OLTC) وفيه الدوائر التركيب هاديين نوعين لاحقاً

ملحوظة (1-9): 'تجاري' يُشار إلى وجود نوع آخر من مُعَيَّرات الخطوة (Tap-changers) واسعة الانتشار في أمريكا الشمالية، والتي تعتمد على محاثات (Reactors) عوضاً عن المقاومات (Resistors)، وعادة ما يتم استخدامها في حال كان مُعَيَّر الخطوة مُنْشَب على ملفات ليعتنية لمخصصة (LV winding) لما لها نوع من قدرة على تحمل التيارات المرتفعة



ملحوظة (1-10): في بداية السبعينيات القرن العشرين (1990's) تم استخدام مُعَيَّرات الخطوة (Tap-changers) ذات خنجر تحويل مُفْرَغَة من الهواء (Vacuum type) لها النوع من مميزاتها أبرزها الحجم الصغير نسبياً بالإضافة إلى تلوث زيت أقل مما يعني فترات صيانة أكبر قد تصل إلى عشرات السنوات.



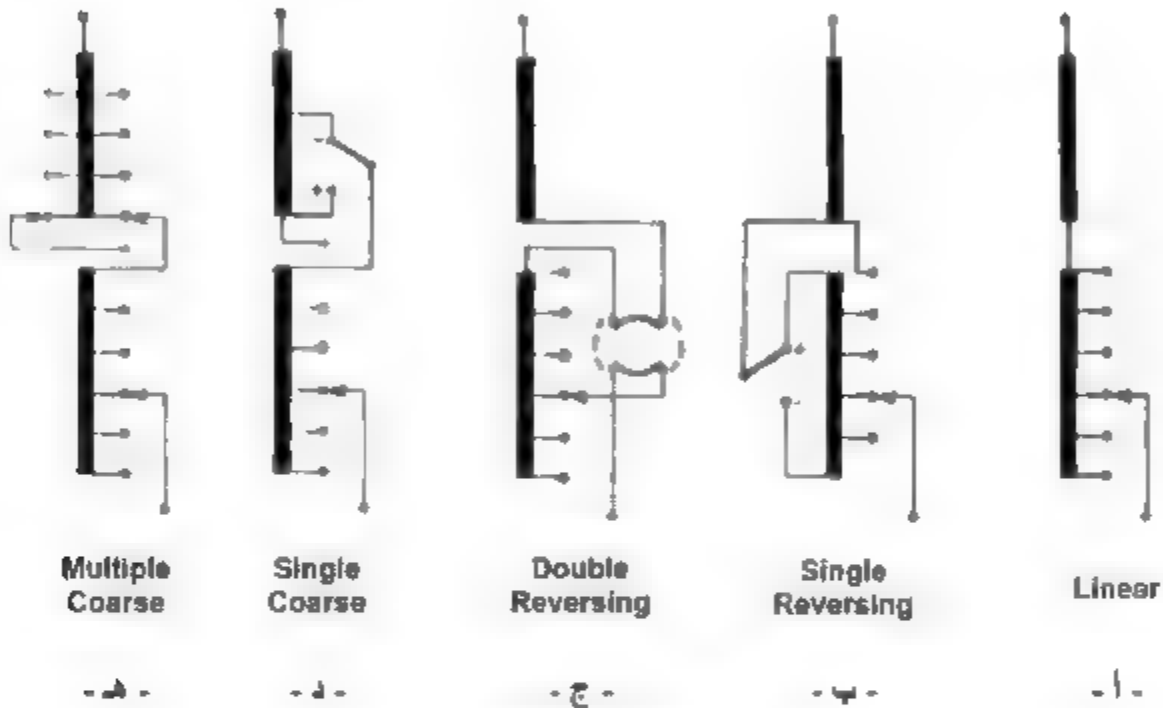
○ حسب التركيب

'نصف' مُعَيَّرات الخطوة وفقاً لأوجه التركيب (Arrangement aspects) إلى ثلاث أصناف رئيسية

- مُعَيَّر خطوة خطي - Linear tap changer
ونُعدُّ نُسْطُ أنواع مُعَيَّرات الخطوة وأكثرها إنتشاراً كما هو موضح في الشكل (1-53) (أ)، وعادة ما يتم استخدامه لنسبة تحويل فولتية أقل من (20%) بالنسبة من الفولتية الاسمية

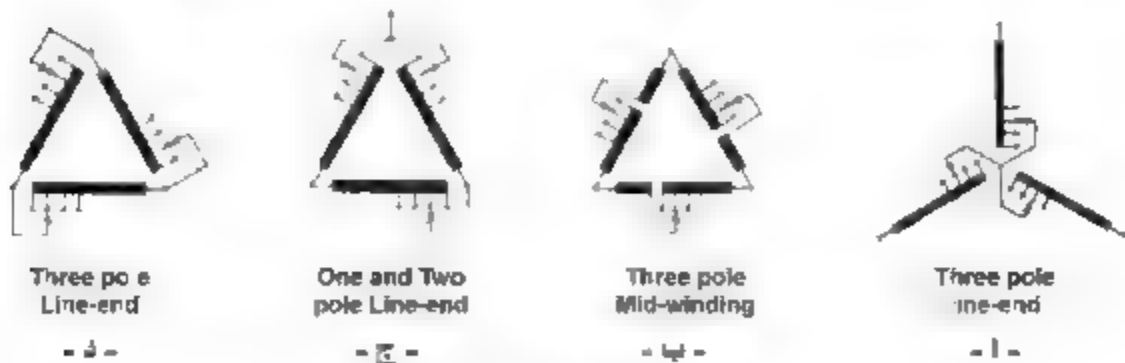
- مُعَيِّر خطوة ذو سبديل عكسي - Reversing changeover OLTC
ويقسم إلى نوعين وهما (Single Reversing OLTC) و (Double Reversing OLTC) كما
هو موضح في الأشكال [(1-53) (ب و ج)]

- مُعَيِّر خطوة ذو خطوات كبير وصغيرة - Coarse/fine tapping OLTC
ويقسم إلى نوعين وهما (Single Coarse/Fine Tapping) و (Multiple Coarse/Fine Tapping)
(Tapping) كما هو موضح في الأشكال [(1-53) (د و هـ)].



الشكل رقم (1-53)

أما فيما يخص المحولات ثلاثية الأضواء فإن تركيب مُعَيِّر 'خطوة' يكون وفقاً لشكل لآتي



الشكل رقم (1-54)

و الجدول (1-2) يوضح جُزء من لوحة البيانات (Name Plate) جدول نسبة التحويل للمحول ذو مُعَيِّر خطوة من نوع (OLTC) لمحول ثلاثي الأطوار ثنائي المراحل نسبة تحويله (420kV/20kV) كيلو فولت،

والحدود (1-3) المحول آخر دوّشعتر خطوة من نوع (DETC أو OCTC) ثلاثي الطور ثلاثي المفاات نسبة تحوّلّه (20kV/11.5kV/11.5kV) كنمو فوالت نسبياً نسبة الحدوس ومقدار الإختلاف في الفولتية

الجدول رقم (1-2)

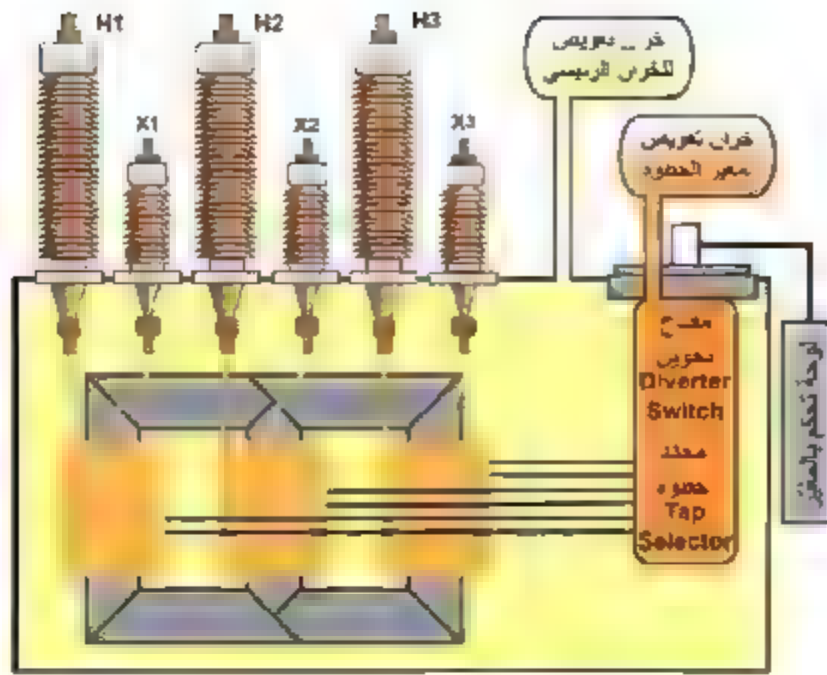
HV				LV	
Position	Tapping	Voltage V	Current A	Voltage V	Current A
1	10%	462000		20000	
2	8.75%	456750			
3	7.5%	451500			
4	6.25%	446250			
5	5%	441000			
6	3.75%	435750			
7	2.5%	430500			
8	1.25%	425250			
9	0%	420000			
10	-1.25%	414750			
11	-2.5%	409500			
12	-3.75%	404250			
13	-5%	399000			
14	-6.25%	393750			
15	-7.5%	388500			
16	-8.75%	383250			
17	-10%	378000			

الجدول رقم (1-3)

HV				LV1		LV2	
Position	Tapping	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
1	5%	21000		11500		11500	
2	2.5%	20500					
3	0%	20000					
4	-2.5%	19500					
5	-5%	19000					

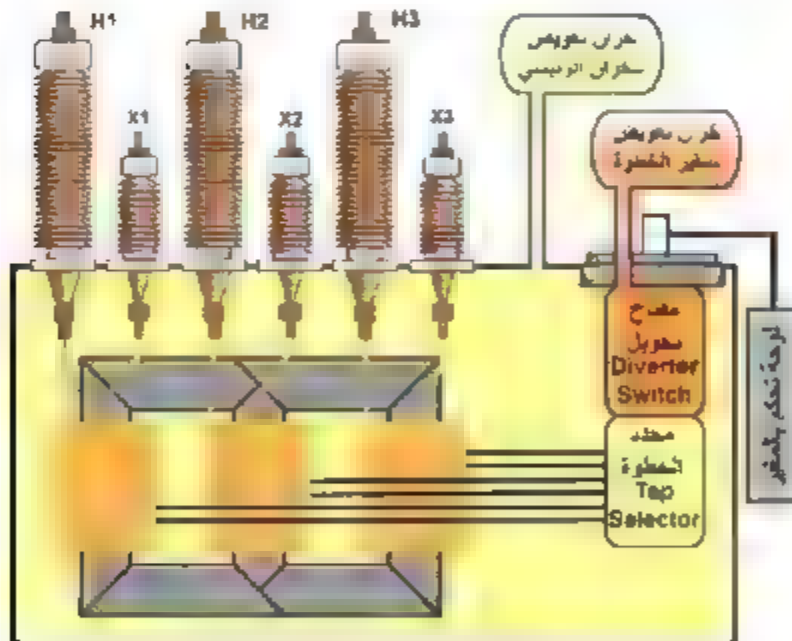
• طرق تركيب حجرة الزيت الخاصة بمُغفّر الخطوة مع الخزان الرئيسي

نم تركيب حشرات الزيت الخاصة بمُغفّر الخطوة مع الخزان الرئيسي المحووس وفقاً لطريقة التالية



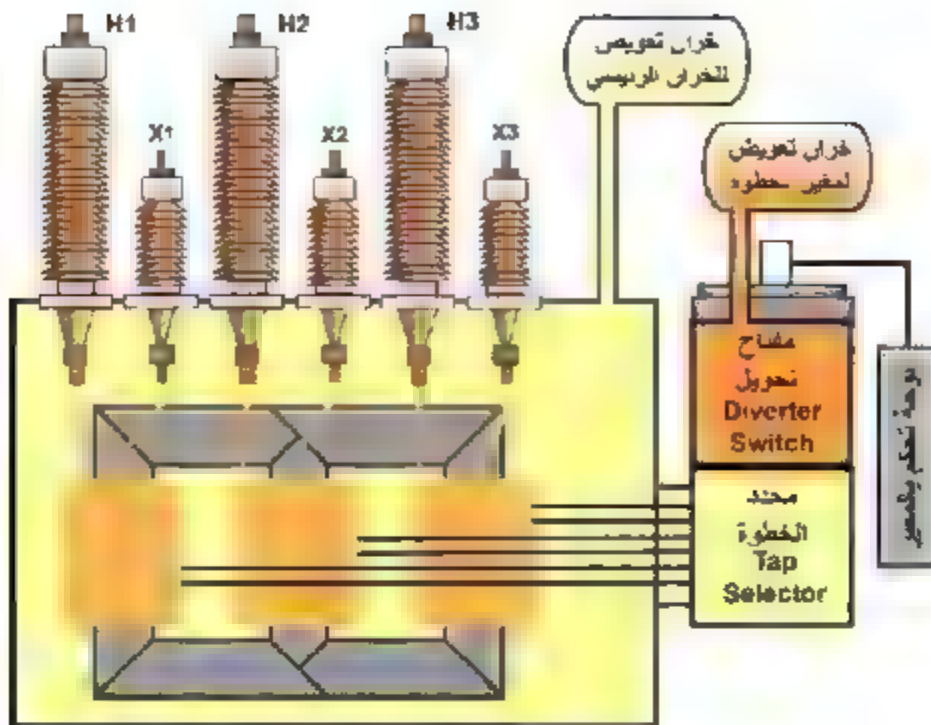
In-tank Selector Switch OLTC

الشكل رقم (1-55)



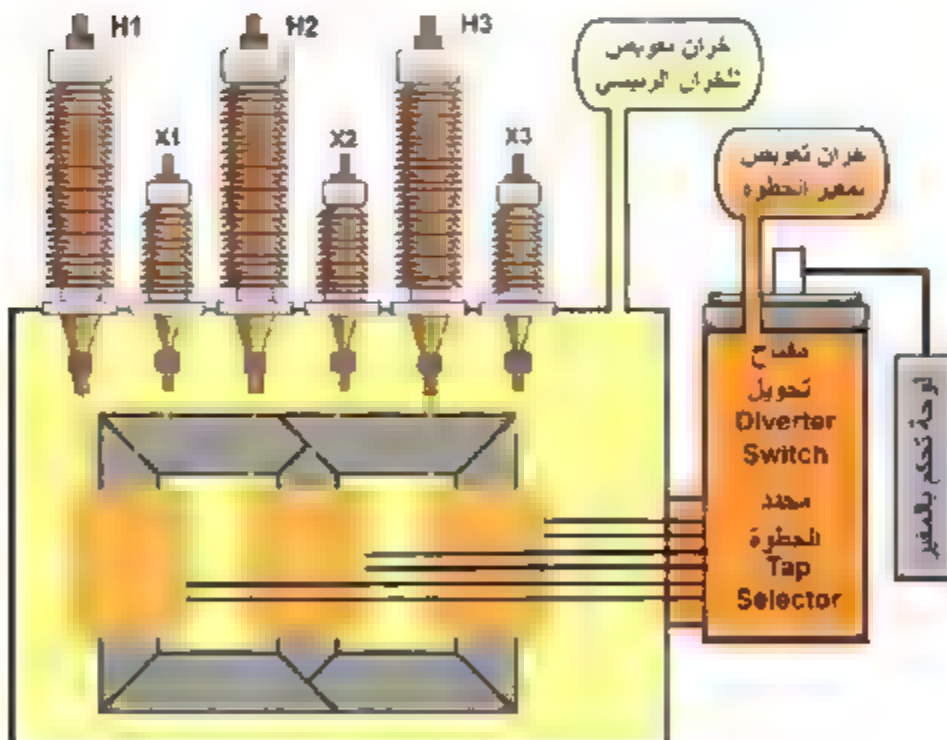
In-tank Diverter Switch OLTC

الشكل رقم (1-56)



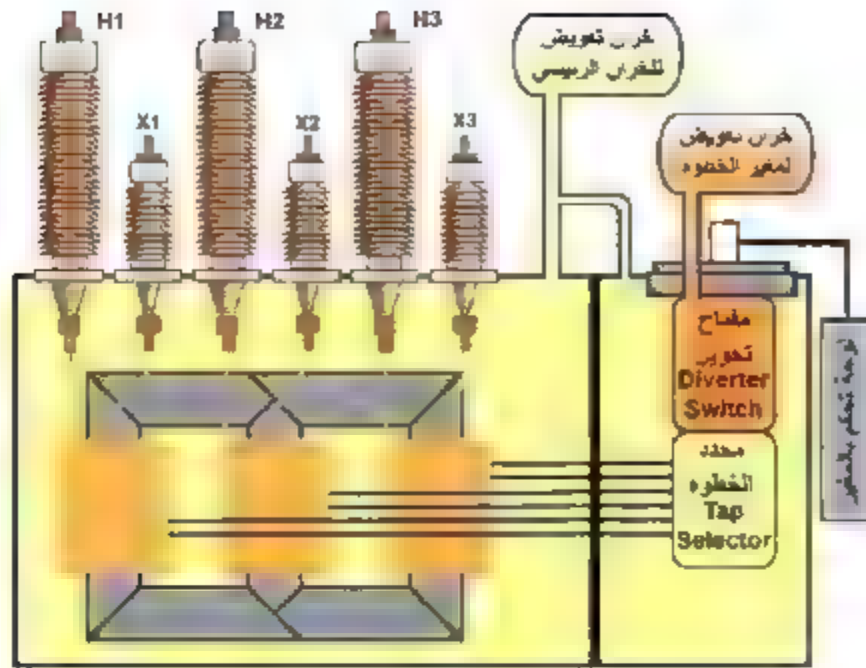
Bolt-on Diverter Switch OLTC

الشكل رقم (1-57)



Bolt-on Selector Switch OLTC

الشكل رقم (1-58)



Double Compartment, In-tank Diverter Switch OLTC

الشكل رقم (1-59)

5.4 نظام العزل - Insulation System

عرفت اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) المادة العازلة على أنها جميع المواد أو الأجزاء التي تأخذ العزل لكافي بين الأجزاء الموصلة كهربائياً، كما يمكن تعريف العزل على أنه مادة (Material) أو وسط (Medium) يتم وضعه بين الموصلات الحاملة لفولتية ذات مستوى مختلف بحيث يسمح هذا العزل بمرور تيار صغير نسبياً يمكن إهماله، وفي النصوص الحديثة للمحولات يتكون نظام العزل من مجموعة من المواد العازلة المختلفة حيث يتم جدول (1-4) مجموعة من المواد العازلة الأكثر استخداماً في المحولات.

الجدول رقم (1-4)

الرقم	نوع المادة العازلة	الرقم	نوع المادة العازلة
1	Pressboard	8	Pressboard collars and end insulation
2	Kraft paper	9	Inorganic and organic core lamination coating
3	Epoxy powder coating	10	Maple wood structural forms
4	Vulcanized fibre	11	Manila and hemp paper
5	Cotton	12	High density particle-board
6	Enamels	13	Laminated particle-board
7	Liquid insulation (oil)	14	Plastics, Cements adhesive tape, Glass fiber bands, etc

• التصنيف الحراري للمواد العازلة

كما ذكر سابقاً، أثناء عمل المحول هناك مجموعة من الصياعات في حامي الحمل، تتأثر عن القلب الجديد والمنعاب ولأجزاء الهيكلية من شأنها رفع درجة حرارة هذا المحول فوق درجة حرارة البيئة المحيطة حسب المعادلة التالية.

$$\text{Operating Temp.} = \text{Ambient Temp.} + \text{Temp. Rise} \quad (1.15)$$

وبما أن نظام العزل يُعتبر من أهم الأنظمة داخل المحول من شأن العمر الافتراضي للمحول يتم تحديده بناءً بعمر الإفرنجي لنظام العزل الخاص به، فلا بُد من المحافظة على درجة حرارته. هذا العزل لكي لا يزيد عن الحد الأعلى المسموح به لهذه المادة العازلة حيث أن تعرض المادة لعوارض ارتفاع حرارة مرتفعة فوق حدودها التشغيلية سوف يربط من معدل تدهورها (Degradation) مؤدياً لتقصيرها وفشل المحول بالكامل.

الجدول (1-5) يبين التصنيف الحراري للمواد العازلة المختلفة كما ورد في كتاب [محولات كهربائية، الجزء الأول، الدكتور كاميل محمد]، والإعتماد على معيار اللجنة الكهروتقنية الدولية - IEC 60085 [2007]

الجدول رقم (1-5)

تصنيف الحراري	درجة الحرارة المطلوبة	نوع المادة
Y	90°	قطن - حرير - ورق - ألياف - سليولوز (بدون تشريب أو غمر بالزيت)
A	105°	نفس المواد لتصنيف (Y) ولكنها مشربة بالراتنج (أرربي) أو الزيت - شرائح خشبية - ورق بطيخة ورنيش
E	120°	ميد راتنج صلب - شرائح ورق وفصل محجرة بالبورماندهيد
B	130°	ميكات ألياف صناعية أمستون
F	155°	نفس المواد في التصنيف (B) بالإضافة مواد رابطة تتحمل الحرارة العالية
H	180°	ألياف صناعية - أمستون - ميكات مع إضافة راتنج سيليكوي
C	أكبر من 180°	ميكات - سيراميك - رجاج - كوارتز - أسبستوس - بدون رابطة أو مع راتنج سيليكوي أو إسقرو حرير عالي جداً

• مكونات نظام العزل وفقاً لموقعها

يتكون نظام العزل في غالبية المحولات الكهربائية المعمورة بالزيت وفقاً لمكان وجوده بالمحول من التالي:

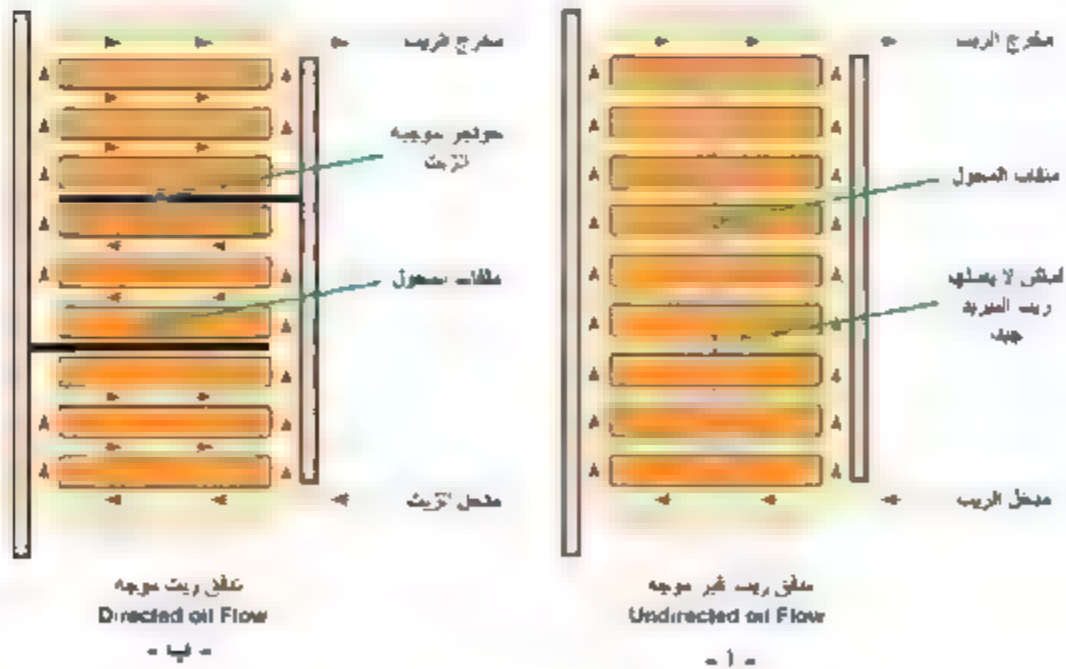
- **عزل رئيسي:** ويمثل الراتنج إلى جانب الألواح المصنوعة (Pressboards) والتي تُثبت جزء العزل الصلب بالمحولات بالإضافة إلى بعض أنواع من الورق، حيث يتواجد هذا العزل

- بين قلب الحديدي (Core) وملفات لمولتية منخفضة (LV winding)
- بين ملفات العولبة لمخفضة (LV winding) وملفات العولبة المرتفعة (HV winding)
- بين أغلى وأسفل الملفات من جهة، وقلب الحديدي (Core) من جهة أخرى
- بين ملفات لمولتية المرتفعة (HV winding) وحرار المحول (Tank)
- بين القلب الحديدي (Core) و خزان المحول (Tank).

○ عزل ثانوي: و يمثل بالورق المضغوط من لأنواع (Kraft أو Nomex) أو طلاء مش (Enamel) و يوجد هذا العزل

- بين الموصلات (Conductors).
- بين الملفات (Turns)
- بين الطبقات (Layers).
- بين الرفائق المكونة للقلب الحديدي (Laminations)

وفيما يخص العوارل الصلبة فإن جانب خصائصها الكهربائية لعزلها فإنها أيضاً تلعب دوراً أساسياً في صلب قوة ميكانيكية لمواجهتها لقوى المؤثرة على المحول أثناء عمله وعمله بشكل طبيعي أو أثناء حدوث أعطال وم ينتج عنها من قوى ميكانيكية كبيرة، بالإضافة إلى أن العوارل لصية تتحكم بشكل وأبعاد ممرات التبريد بين الملفات وكذلك تأمن وجود هذه الممرات كما هو الحال في ممرية لف موديلات محوّل لحرارية (Heical) حيث يتم وضع عوارل صلبة (Pressboard) على شكل قوسل صغيرة (Spacers) بين الملفات لتأمن ممر تبريد أساسي أو توضع كإبردة (Strips) و توضع (Spacers) بين الملفات (Turns) لتأمن ممرات تبريد عامودية (Ladder duct).



الشكل رقم (60-1)

• أنواع العوازل من حيث الحالة الفيزيائية

يُمكن تصنيف المادة العازلة المستخدمة في المحولات تبعاً لحالتها الفيزيائية كالآتي

○ العوازل الصلبة

عند اختيار المادة العازلة للمحول إلى جانب خصائصها الميكانيكية لا بُد من مراعاة بعض خصائص الكهربائية والتي تمثل في قوة عزل مرتفعه (High dielectric strength) و ثابت عزل (Dielectric constant) قريب من نظيره لزيت المحول ومعدل قدره منخفض (Low Power Factor) وكذلك يجب أن يكون المادة العازلة خالية من العيوب والأحسام لصعوبة إموصله

وتنقسم العوازل الصلبة داخل المحول إلى الأنواع التالية:

- الألواح المصعوبة - Pressboards تكون الأساس السليوبي حيث يتم تصنيع هذا النوع من العوازل من لب لسانيت حيث يدخل في عملية معالجة تحسين خصائصها الميكانيكية والكيميائية والكهربائية، ويكون ذات صلابة أكبر من الورق المصعوط (Presspaper) مما تعطي شكل ومقاومة ميكانيكية وكهربائية أكبر للعلقات، ويكون هذه الألواح مصعوبة على شكل
 - ✓ إسطواني (Cylindrical)؛ للعرل بين القلب الحديدي والعتروت وبين العتلات لمختلفة.
 - ✓ فواصل (Blocks أو Spacers)؛ للعرل بين الطبقات (Layers) وبين الأقراص (Disks)
 - ✓ أشرطة (Strips)؛ حيث توجد بين الطبقات أمام مسارات "تري" بين المصبات بالإضافة حمل قطع العزل لصغيره أو ما يسمى بالفواصل (Blocks أو Spacers)
 - ✓ أقراص فاصلة (Disk spacer)؛ للعرل بين أقراص المصبات وبين هياكل المصبات من الأعلى ومن الأسفل.

والشكل (1-61) يبين الأشكال المختلفة لعوازل الصلبة من النوع (Pressboards) داخل المحولات الكهربائية



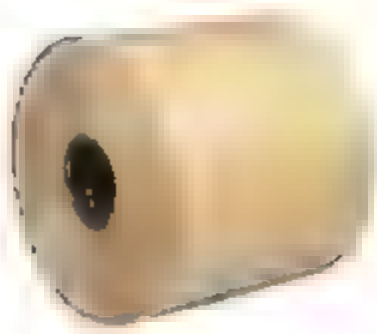
الشكل رقم (1-61)

كما وتوجد أشكال أخرى لهذا النوع من العازل، فمثلاً ما يُستخدم يسمى العزل اللازم لنهايات الموصلات (Leads) ونقاط الالتقاء موصلات حوزة، الأخرى (Bushing) وملفات المحو كما هو مبين الشكل (1-62)



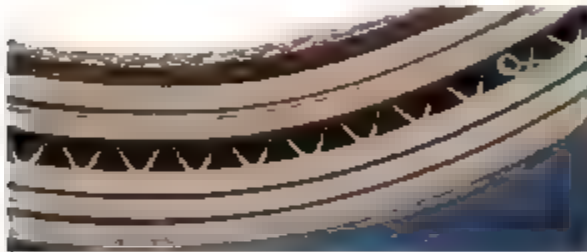
الشكل رقم (1-62)

- الورق المضغوط **Presspaper**: يكون ذو أساس سيليلوري حيث يتم تصنيع هذا النوع من العازل من لب نباتات ومُدخل في عملية معالجه لتحسين خصائصها الميكانيكية والكيميائية والكهربائية و يتكون من طبقة أو عدة طبقات من الورق وله عدة أنواع
- ✓ ورق الكرافت (**Kraft paper**): يُعبر عن المواد العازلة الرئيسة داخل المحول، ويستخدم لعزل بين الطبقات (**Layers**) في المحول.



الشكل رقم (1-63)

✓ الورق المتعرج (Corrugated paper): حيث تُستخدم هذا النوع من الورق المتعرج بين الملفات كأمان مهمرب تبريد عامودية موصلاً عن استخدام لأشرطة (Strips) و فواصل (Spacers) سابقة الذكر كما هو موضح في الشكل (1-64)، حيث تُستخدم هذا النوع بشكل واسع في المحولات ذات السعة القليلة.



الشكل رقم (1-64)

✓ الورق المقوّح أو المُجمد (Crepe paper): وهو عبارة عن ورق عازل ذو مرونة عالية وتُساك أقل من الأنواع سابقة الذكر كما هو موضح في الشكل (1-65)، حيث أنه يُستخدم في عزل الموصلات داخل المحوّل مثل أطراف الصفوف أو لموصلات الوصله بين الملفات ومُغيّر الخطوة (Tap-changer).



الشكل رقم (1-65)

عادة يتم إشباع الورق المضغوط (Presspaper) و الألواح المضغوطة (Pressboards) بأكبر و ذلك لتجنب وجود فجوات هوائية داخل هذا النوع من العوازل وذلك لرفع خصائصه العازلة وإزالة قدره على تبديد الحرارة (Heat dissipation)، ويبين الجدول (1-6) تأثير عمر الألواح المضغوطة (Pressboards)

داريت على قوة العزل (Dielectric strength) الخاصة به. مع تسوية على أن وحدة قياس قوة العزل المُشار إليها بالجدول هي (kV/mm) كيلوفولت لكل ملليمتر.

الجدول رقم (6-1)

السماكة، ملم	قوة العزل في الهواء، كيلوفولت/ملم	قوة العزل في الزيت، كيلوفولت/ملم
1	≥12	≥45
2	≥12	≥35
3	≥12	≥35
5	≥12	≥35

كما ونحذر الإشارة إلى بحث، أعد، مُصنعي المحولات استخدام عازل الصلب الجاف ذو الأساس السيليوري وحدث لما له من خصائص عاشقة للرطوبة (Hygroscopic)، لذلك يتم تجفيفه (Dried) ويشد عنه مسائل فقه يكون فيه، كما ذكر سابقاً أو الورنيش (Varnish) أو الرزين (Resin) لتفادي من امتصاصه للرطوبة و حفاظاً على جودته العازلة بحيث تُعاد المادة التي يتم إشباع العازل بصبب بها فيها يد كانت ريت، أو ورنيش أو رزين أو غيرها من المواد القدرة الحرارية (Thermal capability) لهذه العازل كما هو مبين في الجدول (5-1)

وسنحصر طرق تجفيف المادة العازلة قبل اشبعها بالزيت بالطرق التالية.

- ✓ تدوير تدوير داخل المحولات مما يرفع درجة حرارتها وحرارة العزل، وتساعد على تخليص العزل من الرطوبة
- ✓ خفض الضغط داخل المحول مما يساعد على خروج الرطوبة من المادة العازلة (Under vacuum)
- ✓ تدوير هواء ساخن داخل المحول لتراوح درجة حرارته (90° - 120°) درجة مئوية مما يرفع درجة حرارة العازل ويساعد على تخليصه من الرطوبة
- ✓ تدوير زيت ساخن داخل المحول مما يرفع درجة حرارة العازل وتساعد على تخليصه من رطوبة وهناك طرق أخرى مثل (Hot oil spray drying) و (Kerosene Vapor Phase Drying) و (KVFD) و (Low frequency heating)

○ العوازل ذات الأساس غير الصلب

بالإضافة إلى العوازل الصلبة السابقة الذكر، هناك مواد عازلة ذات أساس غير صلب تكون جسيماً إلى حد ما مع العوازل الصلبة و تتمثل بالآتي:

- مادة الورديش (Varnish) و المينا (Enamel) وغيرها من المواد التي تُستخدم عادة لعزل الموصلات داخل المحول حيث تكون هذه المواد للأساس بالحالة اسائلة ومن ثم تتحول لحالة صلبة بعد طلائها على الملفات أو روائق القلب الحديدي الفردي غيرها
- الزيت: ويمثل أحد أنواع العزل غير الصلب أو السائل داخل المحول

5.5 زيت المحول – Transformer oil

يتم حقن الزيت في أجزاء الرقبي وخزني لتعويض للمحول بحيث يقوى هذا الزيت بعمر الجزء الفعال من المحول ولا يسهل بالقلب الحديدي والملفات. وهناك سُميت هذه محولات بالمحولات المعمورة بالزيت. وتكمن وظيفة هذا الزيت بالآتي

- ✓ العزل: بعد الزيت من المواد العازلة الرئيسية داخل المحول بما أنه من دور في عزل الأجزاء الحاملة للمواصلة أو الموصلة عن بعضها البعض، بالإضافة إلى دور الزيت في حماة شرارة القوس الكهربائي (Arc flash) داخل المحول في حال حدوثها.
- ✓ منع أكسدة الأجزاء المعدنية داخل المحول: يأخذ الزيت طبقة رقيقة تحمي حديد هذه الأجزاء المعدنية الداخلية للمحول مانعاً أكسدةها.
- ✓ التبريد: يساعد الزيت على تبديد حرارة الملفات والمواد العازلة لصبية داخل المحول وذلك بزيادة مساحة تبديد الحرارة (Heat dissipation capacity).
- ✓ أسباب تشخيصية: يُعتبر الزيت، الوسط الحاصل لعلامات، إشارات عن الأعطال داخل المحول وكذلك أحريث الساحة عن نقص المواد العازلة كدئهور مركبات السيليكون التي تال على تدهور المادة العازلة داخل المحول، وأيضاً يساعد على فحص نسبة الرطوبة داخل محول

• الخصائص المثالية لزيت المحولات

لا بُد من توافر بعض الشروط في الزيوت المستخدمة في المحولات الكهربائية حتى يسمى بها اسام بالوظائف المُناطة بها سابقة الذكر، وتتلخص هذه الخصائص بالآتي:

- ✓ قوة عزل مرتفعة – High Dielectric Strength
- ✓ قوة تحمل لارتفاع الفولتية المفاجئ – High Impulse Strength
- ✓ مقاومة مرتفعة لتسرب تيار من خلاله – High Volume Resistivity
- ✓ معامل قدرته منخفض – Low Power Factor
- ✓ حرارة نوعية و موصليته حرارية مرتفعة – High Specific Heat and Thermal Conductivity
- ✓ إستقرار كيميائي – Chemical Stability
- ✓ لزوجة منخفضة – Low Viscosity
- ✓ درجة حرارة نقطة وميض مرتفعة – High Flash Point
- ✓ القدرة على حماة القوس الكهربائي – Good Arc Quenching

بالإضافة إلى أن يكون غير قابل للإشعال، وغير سام و ذو سعر رخيص ومتوافر في الأسواق وكما هو معهود أن هذه الخصائص من الصعب جداً توافرها في زيت واحد بعينه، إلا أن مُصنّمو المحولات ذهبوا إلى استخدام زيوت التي يتوافر فيها أكثر قدر من هذه الخصائص كما سيتم شرحه لاحقاً

• أنواع الزيت المستخدم في المحولات:

○ زيت معدني ذو أساس نفطي - Mineral Petroleum Based Oil

تم استخدام هذا الزيت في أواخر القرن التاسع عشر (1880's) مع مدونات تصنيع المحولات بشكل تجريبي، وهو يتكون من خليط هيدروكربوني يتم اشتقاقه من النفط الخام عبر عمليات التقطير. كما وتُعتبر الزيوت المعالجة أكثر أنواع الزيوت انتشاراً كوسط عزل ووسيلة تبريد في المحولات الكهربائية. لها من خصائص عازلة وروحة محكمة بالإضافة إلى توافرها في الأسواق العالمية وسعرها المنخفض نسبياً، وتُقسم هذا الزيوت إلى الأنواع التالية

- زيوت هيدروكربونية مُشبعة (Saturated hydrocarbons) مثل الزيت البارافيني (Paraffins).
- زيوت أيزو بارافينية (Iso-Paraffins)
- زيوت نافثينية (Naphthenes).
- زيوت هيدروكربونية غير مُشبعة (Unsaturated hydrocarbons) مثل الزيت بوليفيني (Aromatics)

وفي الوقت الحاضر وبخلاف تأثير السلي للزيوت المعدنية على البيئة تم وضع مجموعة من المتطلبات والإجراءات عند التعامل مع هذا النوع من الزيوت و تصنيعه.

○ زيت أسكاريل - Askarels

الأسكاريل (Askarels) هو مادة يتم إضافتها إلى الزيت العزل لإضفاء (Chlorinated hydrocarbon) أو (Polychlorinated biphenyls - PCB) وله أسماء تجارية عند مهندسي (Pyranol, Pyroclor & Clophen)، حيث تم استخدامه في أواخر القرن العشرين (1930's) كبديل زيت المحولات المعدنية (Mineral oil) نظراً لعدم قابليته للإشعال (Non-flammable) مقارنة مع الزيوت المعدنية، بالإضافة إلى سعره المتدني نوعاً ما.

إلا أن سُمية هذا النوع من الزيوت (Askarels - PCB) وتأثيره السلي على صحة الإنسان والحيوان، إلى جانب أضراره الشديدة أدى إلى بظافر الجهود للتخلص منه ومن الزيوت المعدنية (Mineral oil) الملوثة به، حيث شرعت بعض المنظمات الدولية في سبعينات القرن العشرين (1970's) بوضع قوانين لحظر استخدامه. هذا النوع من الزيوت كما هو الحال حيث أقره معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) الشركات المُصنعة للمحولات بوضع حملة على لوحة البيانات (Name Plate) الخاصة بالمحول تنص على أن المحول غادر المصنع بنسبة (PCB) أقل من (2 ppm) في الزيت. كما وتُجدر الإشارة إلى أن

مصطلح ريت المعسي الملوث بالـ (PCB) يُضاف على الريت المعدني الذي يحوي ما مقداره (50 ppm) أو أكثر من الـ (PCB)

○ موائع السيليكون - Silicon Fluids

لموائع السيليكونية و بشكل أدق تُسمى (polymerized siloxanes) و (polysiloxanes) تتكون من خلائط من بوليمرات عضوية وغير عضوية بحيث تكون الجزء غير العضوي مكون من سيليكون (Si) و الأكسجين (O)

بدأ استخدام هذه الموائع في المحولات في نهاية سبعينيات القرن الماضي (1970's) بشكل أساسي كأحد بدائل ريت الأسكاريس (Askarels - PCB) لما له من درجة حرارة نقطة اشتعال (Fire point) أعلى مما تُعطي من خطر حدوث حرائق، بالإضافة إلى مقاومته للأكسدة بشكل مريع ولكن لم يحقق هذا نوع من الربوت انتشاراً كبيراً إلا في المحولات المستخدمة في القطارات أو ما يُسمى بمحولات الجرّ (Traction transformers) و في محولات التوزيع منخفضة السعة (Low Capacity) بالإضافة إلى المحولات المستخدمة في التطبيقات ذات الحرارة المرتفعة خشية حدوث حرائق.

و من أوجه قصور هذا النوع من الربوت اللزوجة العالية مما يعني قدرة على التبريد منخفضة، بالإضافة إلى معدل التحلل المنخفض (Low Biodegradability) مما يعني استمرار بيئته مرتفعة في حال تسربه كما وتُشكل التخلص (Disposal) من هذا الريت عائقاً آخر لاستخدامه نتيجة لأضراره لبيئته سابقة الذكر وكذلك ضرورة تغيير كامل لريت المُتبادل وذلك لعدم عدم إمكانية معالجته.

حديثاً قامت اليابان بتطوير نوع من الريت السيليكوني قليل اللزوجة (Low-Viscosity Silicone fluid) وتم استخدامه في محولات القوى ذات السعة فراه (30 MVA) بمسوى فوسيه (66kV)، وبين اليابان لا يُعرف أي استخدام لريت السيليكوني في محولات القوى الكهربائية.

○ إسترات اصطناعية - Synthetic esters

تمت صياغة بركبيه هذا النوع من الإسترات المُكوّن من رابطة كيميائية بشكل سيّجته تتفاعل الكحول مع الأحماض الدهنية (Fatty acids) لأول مرة في نهاية سبعينيات القرن الماضي (1970's) إلى أن تم استخدامه بشكل تجاري لأول مرة في نهاية سبعينيات القرن نفسه في ألمانيا ومن ثم تم استخدامه من قبل شركة توريد الكهرباء الأردنية (JEPCO) في عام (1995) لمحولات التوزيع السكنية لما له من درجة حرارة نقطة اشتعال (Fire point) مرتفعة مما يُقلل من خطر حدوث الحرائق، بالإضافة إلى مقاومته للأكسدة بشكل مريع و معدل تحلل (Biodegradability) أعلى من الربوت المعدني والسيليكونية مما يجعله صديقاً للبيئة أكثر، لذلك شاع استخدام هذه الربوت في المحولات المُستخدمة في التطبيقات ذات الحرارة المرتفعة ونصاً في الأماكن المأهولة السكان خوفاً من الحرائق بالإضافة إلى الأماكن التي تُعتبر ملوثات بيئية فيها من الأمور الحساسة جداً ومن الأمثلة على الإسترات الاصطناعية ريت الـ (MDEL 7131)

○ إسترات طبيعية - Natural esters

بدأت الدراسات حول هذا النوع من الزيوت في نهاية تسعينات القرن الماضي (1990's) إلى أن تم استخدامه بشكل تجاري لأول مرة في نهاية القرن الحالي وتُصانُ تسمى الزيت نباتي (Vegetable oil) و تكون هذه الزيوت لينة في تركيبها لأنها من ثلاثي الجليسريد (Tri-glycerides) حيث يتم سحبها من أصويا أو دوار الشمس، وتعتبر إحدى سائل الزيوت المعدنية والسيليكونية المُستخدمة في المحولات لها من درجة حرارة نقطة اشتعال مرتفعة (High Fire point) مما يقلل من خطر حدوث الحرائق، بالإضافة إلى مُعدّل تحلل (Biodegradability) أعلى من زيوت معدنية والسيليكونية مما يجعله صديق بيئته أكثر، ذلك شائع استخدام هذه الزيوت في المحولات لمستخدميه في التطبيق ذات الحرارة المرتفعة وأنصافاً في الأماكن المأهولة بالسكان خوفاً من الحريق بالإضافة إلى الأمان التي تُعتبر تلوث البيئة فيها من الأمور الخطيرة جداً كخطرنا الإصطناعية كما ويتفق الإسترات الإصطناعية والصناعية في الخصائص السابقة الذكر إلا أنها تفتقر في أن الإسترات الطبيعية تمتلك خصائص غير مسبوقة في تحلل الأكسدة (Oxidation)

ومن الجدير بالذكر أن الإسترات الصناعية والإصطناعية يُمكنها إمتصاص كمية رطوبة أكثر من نظيرتها المعدنية والسيليكونية دون التأثير على خصائص هذه الزيوت لعدم الكهرباء، بالإضافة إلى أنها صديقة لبيئته في حال تسربت من المحولات أو في حال تم التخلص منها على النقيض من الزيوت المعدنية والسيليكونية والاسكارين وذلك لتسببها لمرقعة على التحلل بالإضافة لعدم سُميةها، كما وأنها تحتل درجة حرارة نقطة اشتعال مرتفعة (High Fire point) مما يجعلها أكثر ملاءمة اتجاه الحرائق وسينحدر حول (1-7) استخدامات هذه الزيوت

الجدول رقم (1-7)

نوع المحول	نوع الزيت		
	معنني	سيليكوني	إستر إصطناعي
محول قدرة	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	لا يُستخدم حالياً	يُستخدم بشكل غير واسع الانتشار
محول توزيع	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	يُستخدم بشكل واسع الانتشار
محول جَوّ	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	يُستخدم بشكل واسع الانتشار
محول قياس	يُستخدم بشكل واسع الانتشار	لا يُستخدم حالياً	لا يُستخدم حالياً

و الجدول (1-8) يافض مقارنة بين خصائص أنواع ريبوب المخسفة حتى سنهل فهم هذه الخصائص وفقاً للمجلس الدولي للأنظمة الكهربائية الكبيرة CIGRE

الجدول رقم (1-8)

المصدر التسبي	1	10	8- 6	2	5
درجة حرارة نقطة الإنصهار	-50°	-50°	-45°	-15°	-45°
تصنيف الإشتعال	0	K	K	K	L
درجة حرارة نقطة الإشتعال °C	170° 180°	>350°	>300°	>350°	>400°
درجة حرارة نقطة لوميض °C	160° 170°	>300°	>250°	>300°	>300°
التشبع بالماء عند درجة حرارة 23° ppm	55	220	2600	1100	35
فولتية الإنهيار 25mm gap (IEC) kV	>70	50	>75	>75	>30
إستقرية إلتجاه التأكسد	تستقر بوقت	تستقر	تستقر	تستقر	تستقر
قابلية التحلل	بطيء	بطيء جداً	سريع	سريع جداً	سريع
المصدر	تخفيفية أرثام	مركبات كيميائية	مركبات كيميائية	تخفيفية مركبات المعدنية	مركبات كيميائية
المكون الرئيسي	مركبات هيدروكربونية معدنية	di-alkyl silicone polymer	Pentaerythrit ol tetra ester	إسترات طينيني أسترات معدنية	polychlorinated biphenyl
النوع	نظف خام مكرر و مقطر	إصطناعي	إصطناعي	زيت نباتي مكرر	إصطناعي
وجه المقارنة	زيت معدني	زيت سيليكوني	إسترات إصطناعي	إسترات طبيعي	الأسكاريل
نوع الزيت					

5.6 نظام التبريد - Cooling system

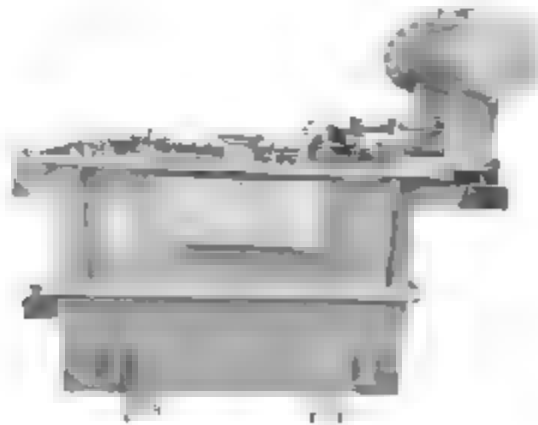
يؤثر ارتفاع درجة الحرارة داخل المحول عن معدلات اضعافية يؤدي إلى تقليل العمر الافتراضي للمحول وذلك بزيادة معدل تهالك أو تقادم (Ageing Rate) أحد أهم مكونات المحول له خلية وهو ورق عزل، ونوعاً لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE فإن زيده درجة حرارة (Hot spot) للمحول بها مقداره (6°) درجات مئوية سيؤدي إلى انخفاض عمر المحول الإفراسي بنسبة 50% وما سبق يمكن ملاحظة رطبة العمر الافتراضي للمحول ككل بالعمر الافتراضي لورق العزل وذلك لأن، يشير هذا الورق يعني إظهار للمحول ككل بالإضافة إلى عدم إمكانية إستبدال هذا الورق بسهولة كباقي أجزاء للمحول في حال فشلها

و يبقى التساؤل المصروح من أين تأتي هذه الحرارة ؟ . والإجابة على هذا التساؤل يمكن رجوع إلى شرح لسابق والخاص بصياعات المحولات الواقعة والتي تنقسم إلى صياعات حمل وصياعات لاحتل و هما على حد سواء المصدر الرئيسي لحرارة داخل المحول بالإضافة لدرجة حرارة البيئة المحيطة، تلك لا بد من وجود نظام تبريد لتبديد هذه الحرارة المتكوّنة

• مكونات نظام التبريد

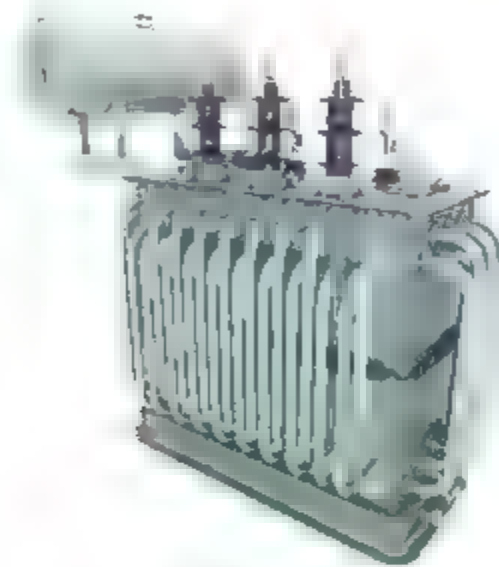
○ **زيت التبريد:** يتم اختيار زيت المحول بعناية فائقة حيث خصائصه الكهربائية العادلة يتم مرصه خصائص أخرى كالروحه وغيره من الخصائص الفيزيائية و كيميائية التي تلعب دوراً مهماً في عملية تبريد، كما ويُعتبر الزيت وسط التبريد الداخلي للمحول حيث يكون على تماس مباشر مع الملفات والمقلب الحثدي (مصدر الحرارة داخل المحول) مما يُسهل عملية التبادل الحراري.

○ **الخزان الرئيسي:** هناك عدة أنواع للحرارات الرئيسية للمحولات وفقاً لكتيفيه التبريد وسهولة الخزان ذو الجدران المسطحة - Plain sheet steel tank في هذا النوع من الخزانات يمكن تبادل الحرارة بين الزيت لدخلي والهواء الخارجي عبر حدران الخزانات الخارجية فقط دون الحاجة مبدئياً لحراري، فمبج أو مُنصل عن حسمه الأخرى كما هو مبين في الشكل (1-66) وهذه النوع وء ده ما يكون من النوع ذو حافة ثابت علوية (High Flange Tank Design)، وهذا النوع من الخزانات واسع الانتشار لمحولات التوزيع الصغيرة جداً حوالى (50kVA) كيلو فولت أمبير أو أقل.



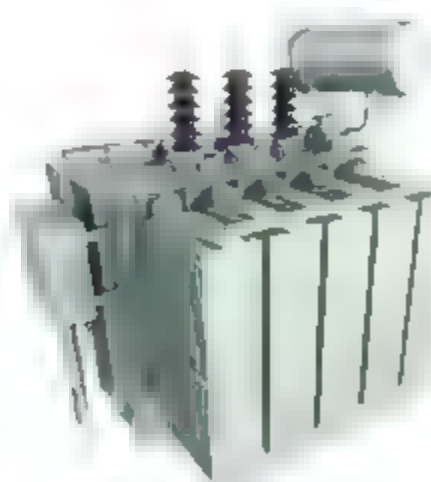
الشكل رقم (1-66)

- الخزان ذو الأنابيب الجانبية - **Tubed tank**: في هذا النوع من الخزانات يتم تدفق الحرارة بين أنابيب الداخلي والهواء الخارجي عبر جدران الخزن الخارجية بالإضافة إلى مجموعة من الأنابيب المتصلة بجدران خزان المحول لتأخذها عن طريق اللحام (Welding) كما هو مبين في الشكل (1-67)، وهذا النوع من الخزانات واسع الإنتشار لمحولات لتوزيع كافة عن اختلاف سعتها من عدد الصغيرة جداً حتى ولدي يتم استخدامها لخزان ذو الجدران المسطحة (Plain tank) سابق الذكر.



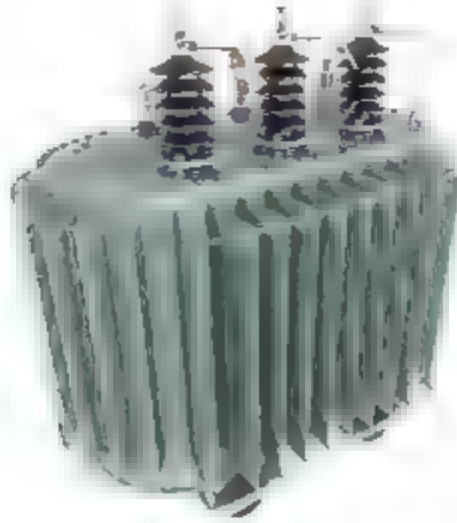
الشكل رقم (1-67)

- الخزان ذو المشع - **Radiator tank**. يُعد أحد بدائل الخزان السابق - ذو الأنابيب - وفي هذا النوع من الخزانات يتم تدفق الحرارة بين الزيت الداخلي والهواء الخارجي عبر جدران الخزان الخارجية بالإضافة إلى مشع (Radiator)، حيث يتم تدفقه جدران خزان المحول عن طريق البرادج عبر صفات حالات التصيد كاستبدال المشع كما هو مبين في الشكل (1-68)، وهذا النوع من الخزانات واسع الإنتشار للمحولات ذات السعة الصغيرة والمتوسطة



الشكل رقم (1-68)

- الخزان ذو الجدران المتعرجة - **Corrugated tank**. يُعدّ من الخزان ذو الأنابيب (**Tubed tank**)، والمبين في الشكل (1-69)



الشكل رقم (1-69)

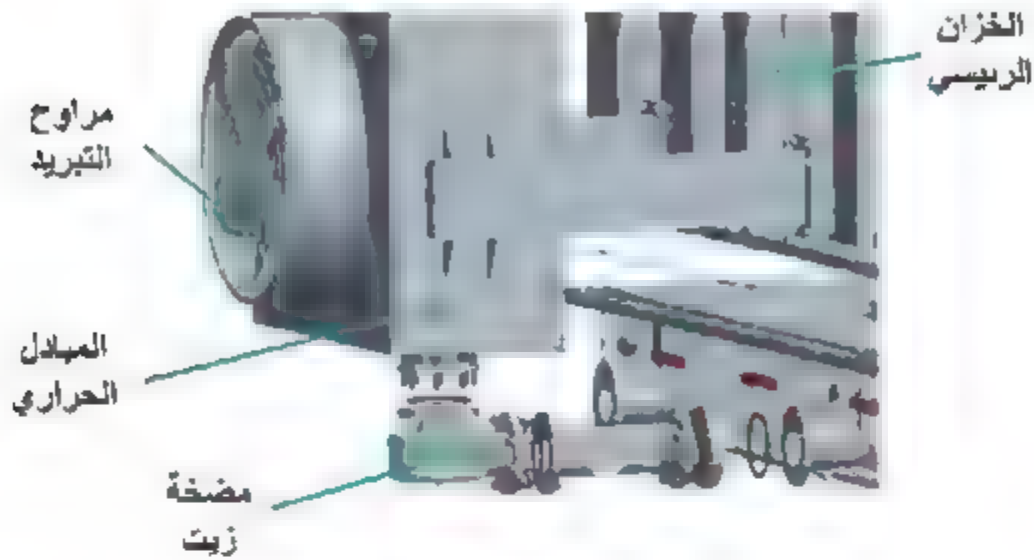
- الخزان ذو المبادل الحراري المنفصل - **Separated cooler tank**: يُعدّ هذا النوع الأكثر انتشاراً خاصة للمحولات ذات السعات الكبيرة (**Large Capacities**)، حيث يكون المبادل الحراري مُنفصل عن جسم الخزان ويتم وصلها بالأنابيب كبيرة قد تحتوي على مضخات في بعض التطبيقات كما سيتم الشرح لاحقاً

○ **المبادل الحراري**: هو ذلك الجزء من النظام الذي يتم من خلاله نقل الحرارة بين وسط التبريد الداخلي - الزيت - ووسط التبريد الخارجي - هواء أو ماء - وله عدة أنواع كالمُشعّ (**Radiator**) والذي يُستخدم عادةً مع طريقة التبريد (**ONAN** أو **ONAF**)، والنوع الثاني هو المبادل الحراري زيت/هواء (**Oil/Air heat exchanger**) و يُستخدم عادةً مع طريقة التبريد (**OFAF** و **ODAF**)، والنوع الثالث المُبادل الحراري أو ما يُسمى بالمُبرّد زيت/ماء (**Oil/Water heat exchanger** or **Cooler**) و يُستخدم عادةً مع طريقة التبريد (**ODWF** و **OFWF**)

○ **المراوح**: تُستخدم للتدوير القسري (**Forced**) لوسط التبريد الخارجي - هواء - حيث يتم تركيبها مع المُشعّ (**Radiators**) في طريقة التبريد (**ONAF**) أو مع المبادل الحراري زيت/هواء (**Oil/Air heat exchanger**) في طريقة التبريد (**OFAF** و **ODAF**) وعادةً ما يتم التحكم بشعبيّن وإطفاء هذه المراوح بأمر من مؤشر درجة حرارة الزيت (**OTI**) أو مؤشر درجة حرارة أمففات (**WTI**) أو عن طريق مُرّحّل خاص وقتاً لحمل المحوّل فمثلاً لو زاد الحمل عن (70%) من الحمل الكلي يُصدر هذا المُرّحّل إشارة عمل للمراوح والعكس صحيح.

○ **المضخة**: تُستخدم للتدوير القسري (**Forced**) لوسط التبريد الداخلي - زيت أو إخراجي - ماء - بحيث يتم تركيبها مع المُشعّ (**Radiators**) في طريقة التبريد (**OFAF**) أو مع المُبادل

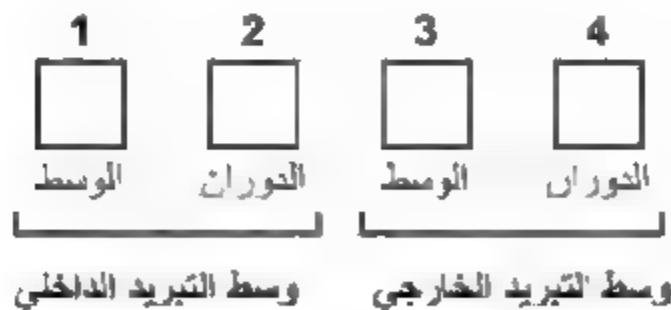
الحراري زيت/هواء (Oil/Air heat exchanger) في طريقه التبريد (OFAF أو ODAF) أو مع
المبادل الحراري زيت/ماء (Oil/Water heat exchanger) في طريقة التبريد (OFWF أو ODWF)



الشكل رقم (1-70)

• الترميز الخاص بطرق التبريد

مراجع، إلى معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) فإن طريقة التبريد للمحولات الكهربائية يتم لإشارته بترميز (Code) مكون من أربعة حروف وفقاً لشرح الآتي بحيث يتم اختيار طريقته التبريد المناسبة للمحول بالاعتماد على نوع التطبيق المستخدم فيه المحول بالإضافة إلى حجم المحول وكمية الحرارة المُراد تبديدها.



الجدول رقم (9-1)

الحرف الأول: ويرمز لوسط التبريد الداخلي للمحول و الذي يكون على تماس مباشر مع الملفات		
O	زيت معدني أو اصطناعي ذو درجة حرارة نقطة اشتعال (Fire point) أقل أو تساوي 300° درجة مئوية	وسط التبريد الداخلي
K	مثل عزل ذو درجة حرارة نقطة اشتعال (Fire point) أكثر من 300° درجة مئوية	
L	سائل عزل ذو درجة حرارة نقطة اشتعال (Fire point) لا يمكن قياسها.	
الحرف الثاني: ويرمز لآلية تدوير وسط التبريد الداخلي للمحول		
N	يتم تدوير سائل تبريد بشكل طبيعي (Natural) دون الحاجة لمضخة ووفقا لمظاهرة الحمل الطبيعي (Thermosiphon effect) لكل من جهاز التبريد - المشع - و الملفات.	
F	يتم تدوير سائل تبريد بشكل قسري (Forced) داخل جهاز تبريد المشع - باستخدام مضخة - زيت ، وبشكل طبيعي (Natural) في الملفات	
D	يتم تدوير سائل تبريد بشكل قسري (Forced) داخل جهاز تبريد - المشع باستخدام مضخة زيت ، ويتم توجيه (Directed) الزيت الخارج من المشع في الملفات.	
الحرف الثالث: ويرمز لوسط التبريد الخارجي للمحول		
A	هواء	وسط التبريد الخارجي
W	ماء	
الحرف الرابع: ويرمز لآلية تدوير وسط التبريد الخارجي للمحول		
N	يتم تدوير مائع تبريد بشكل طبيعي (Natural) دون الحاجة لمضخة ماء أو مزيج هواء	
F	يتم تدوير مائع تبريد بشكل قسري (Forced) باستخدام مضخة - ماء - أو مزيج هواء -	

ملحوظة (1-11): هنالك بعض أنواع التبريد الخاصة و تُستخدم مع محولات المعزولة دالمر مثل غاز سداسي فلوريد الكبريت (SF_6) و يكون على النحو التالي (GNAN و GDAN و GDWF و GDWF) حيث (G) يُعصدها وسط التبريد الداخلي للمحول وهو غاز (SF_6) و فيما يخص باقي الرموز يُمكن معرفتها بالرجوع للجدول (9-1) سابق الذكر

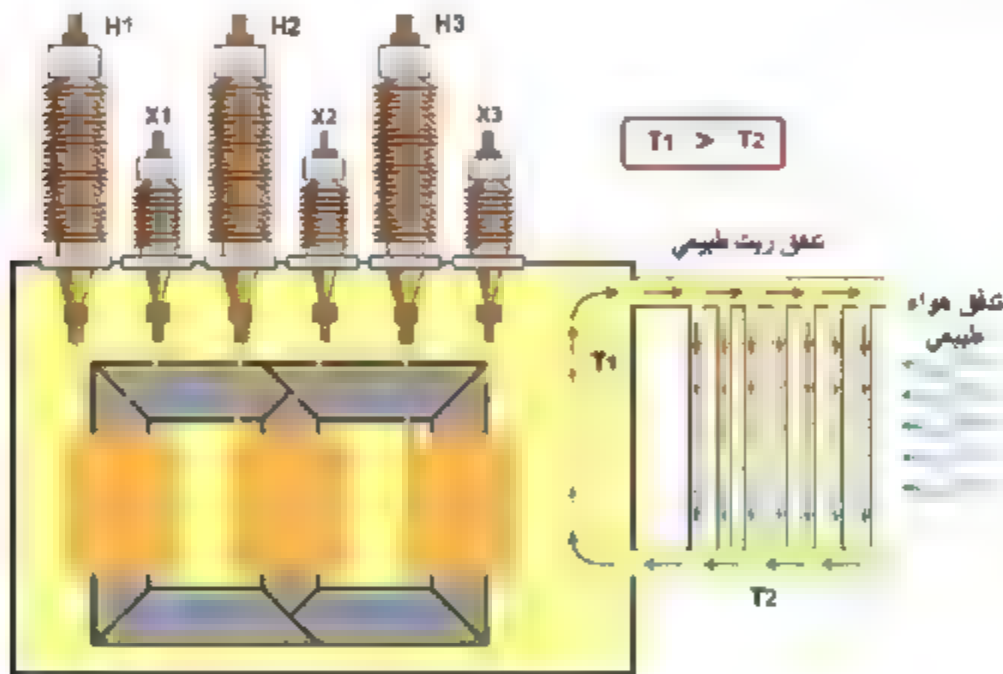


طرق التبريد

اعتماداً على طريقته التبريد المذكورة أعلاه يمكن إستخلاص وشرح آلية عمل أكثر طرق التبريد للمحولات شيوياً كالآتي:

طرق التبريد – ONAN و ONAF

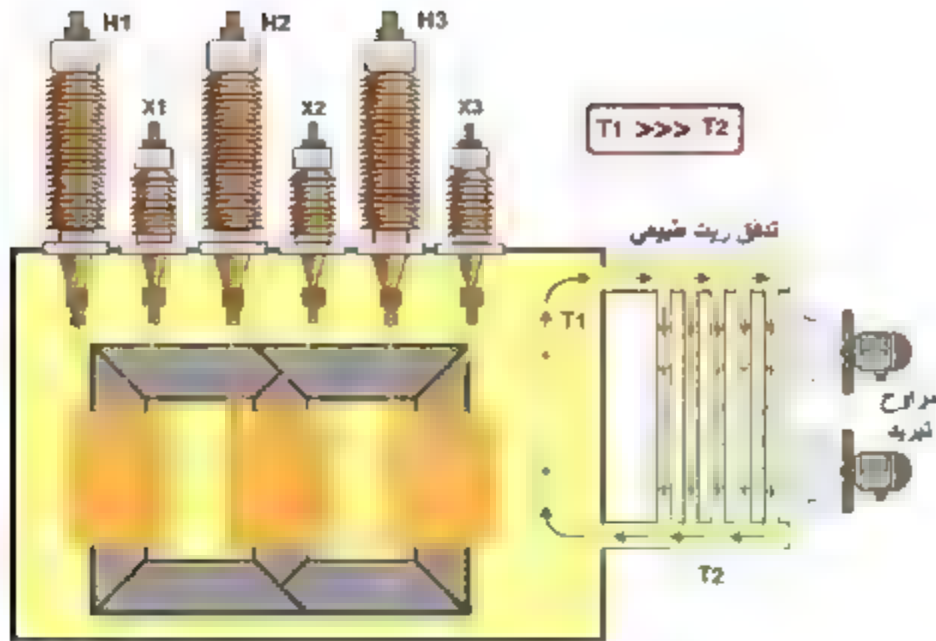
تُعتبر طريقته تبريد (Oil Natural Air Natural - ONAN) من أسسط طرق تبريد وأكثرها إنتشاراً حيث يتم التبريد نتيجة للدوران الطبيعي للزيت وفقاً لما يسمى بالـ (Thermosiphon effect) داخل المحول نتيجة لوجود فرق في درجة حرارة الزيت (ΔT) داخل حرم المحول (TI) وفي المبادل الحراري المشغ (T2) كما يظهر بالشكل (1-71).



Oil Natural Air Natural - ONAN

الشكل رقم (1-71)

ويصاحبه مروح المبادل الحراري الفشع لتصبح طريقته لتبريد (Oil Natural Air Forced - ONAF). يردد فرق في درجة حرارة الزيت (ΔT) داخل حرم المحول (TI) وفي مبادل حراري مُشغ (T2) وذلك نتيجة لإنخفاض درجة الحرارة (T2) مما يعني زيادته في معدل التدفق (Flow rate) أثناء دوران الطبيعي للزيت و زيادة التبريد كما يظهر في الشكل (1-72).

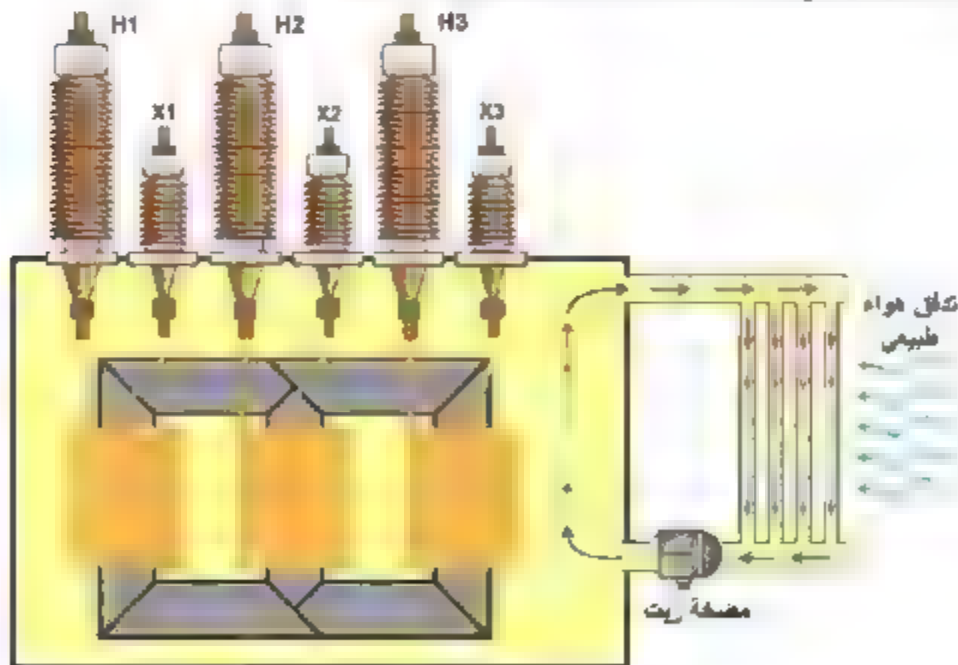


Oil Natural Air Forced - ONAF

الشكل رقم (1-72)

طرق التبريد - OFAN و OFAF و OFWF

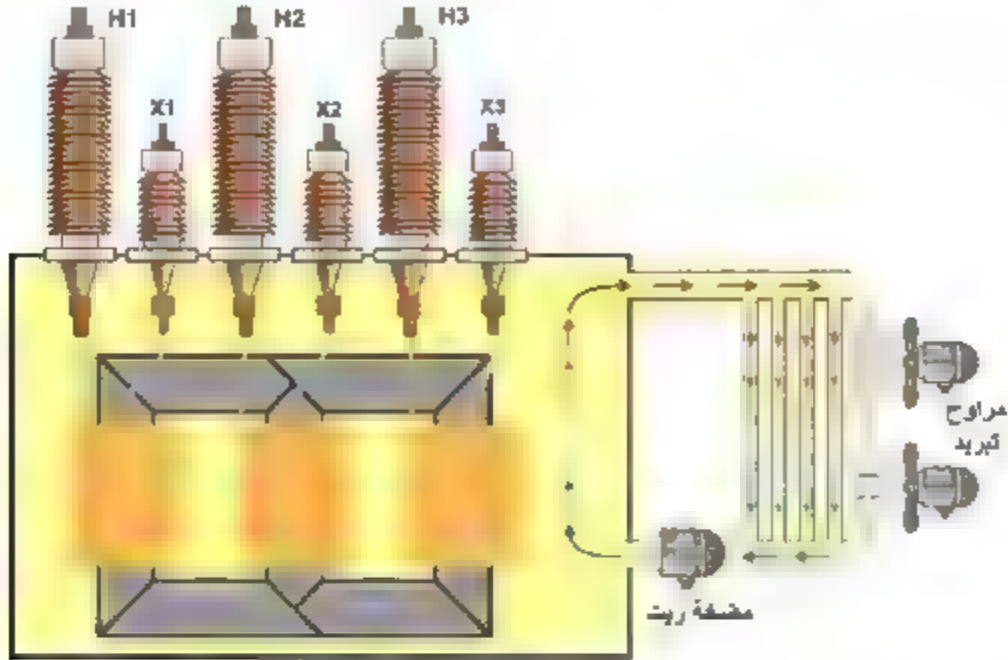
في هذه الطرق من تبريد يكون دوران الزيت داخل المحول قسري (Oil Forced - OF) عبر مسخحات زيت شائعة بين المبادل الحراري واخرى ارضي المحول و يكون هذا الدوران عبر شراخه (Non-directed) كما هو موضح بالاشكال (1-73) و (1-74) و (1-75)



Oil Forced Air Natural - OFAN

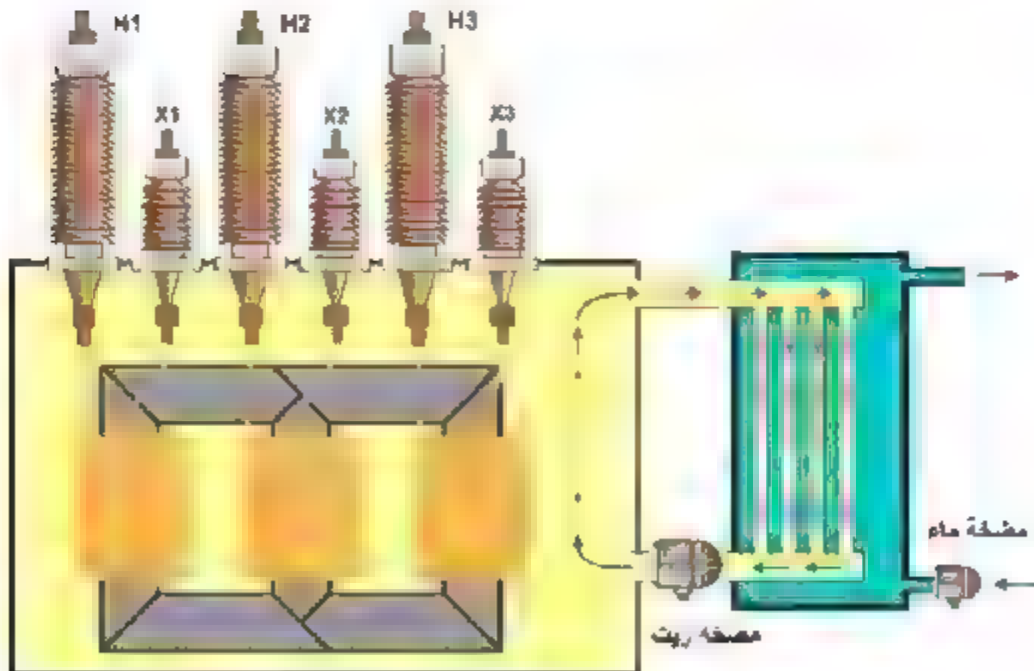
الشكل رقم (1-73)

أما فيما يخص وسط التبريد الخارجي وإما أن تكون هواء طبيعي (Air Natural - AN) كما هو مبين في الشكل (1-73)، أو هواء مدفوع بمراوح أي بشكل قسري (Air Forced - AF) كما هو مبين في الشكل (1-74)، أو ماء دو دوران قسري (Water Forced - WF) كما هو مبين في الشكل (1-75) وذلك يعتمد على التطبيق المستخدم فيه هذا المحلول.



Oil Forced Air Forced - OFAF

الشكل رقم (1-74)



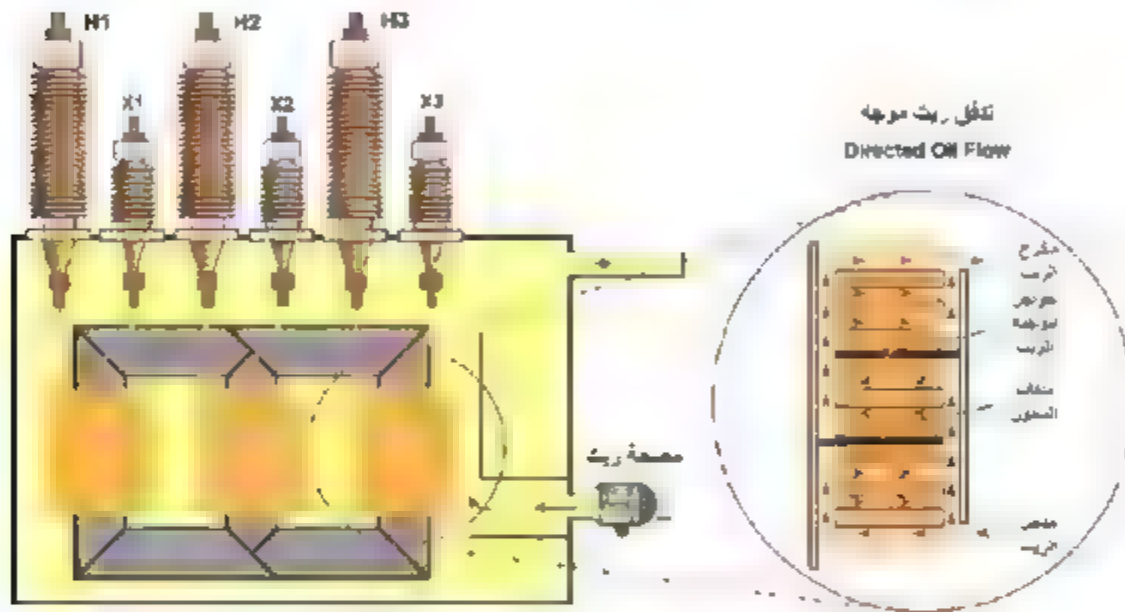
Oil Forced Water Forced - OFWF

الشكل رقم (1-75)

○ طرق التبريد – ODAN و ODAF و ODWF

في هذه الطرق من التبريد يكون دوران الزيت داخل المحول قسري (Oil Forced – OF) عبر مصحات ريب مثبتة بين اعمدة الحراري واخرى ا رئيسي للمحول و يكون هذا الدوران موجه (directed) على الملفات الرئيسية ضمن مسارات محددة لزيادة كفاءة التبادل الحراري بين اصفاء و ريب المحول كما هو موضح في الشكل (1-76)

أما فيما يخص وسط التبريد ا خارجي فإما أن يكون هواء طبيعي (Air Natural – AN) أو هواء مدفوع بمراوح (قسري) (Air Forced – AF) و ماء دو دوران قسري (Water Forced – WF) وذلك يعتمد على التطبيق المستخدم فيه هذا المحول.



Oil Directed - ODXD

الشكل رقم (1-76)

● طرق التبريد وفقاً لقدرة المحول:

○ محولات القدرة الصغيرة (أقل من 50MVA)

مع هذا النوع من المحولات عادة ما يتم استخدام طريقة التبريد (ONAN)، وتكفي حسب هذه الطريقة في التبريد بأنها لا تحتاج إلى صيانة إضافية إلى عدم حاجتها إلى مصدر كهربائي إضافي (المراوح مثلاً) كما ونبي الفرصة المتاحة لإضافة مراوح مستقلاً إذا لزم الأمر.

○ محولات قدرة متوسطة (من 50MVA إلى 150MVA)

مع هذا النوع من المحولات عادة ما يتم الجمع بين طريقتي التبريد (ONAN و ONAF) في المحول الواحد، بحيث يبدأ المحول عمله على طريقة التبريد (ONAN) ومن ثم نتيجة لارتفاع حرارة ريب أو ملفات المحول

أو محميين لمحول فوق حد معين قد يكون من 70% إلى 80% من الحمل الكامل لعمل المرواح لفئة عى المصدر الحراري المشع لسحق المحول إلى طريقة التبريد (ONAF)

محولات قدرة كبيرة (أكثر من 150MVA)

مع هذه المحولات إذا تم استخدام طريقة التبريد (ONAF) فإننا نحتاج إلى مبادلات حرارية مشع ذو حجم كبير، ذلك وللقلب من حجم هذه المبادلات به يستخدم طرق التبريد (ONAF أو OFAF)

كما ويجدر الإشارة إلى أنه يمكن جمع بين أكثر من طريقة تبريد كما ذكر سابقاً كمثال فإنه في المحولات الكبيرة عادة قد تكون طرف التبريد كالتالي

- عندما يكون حمل المحول أقل أو يسوي 60% من الحمل الكامل تكون طريقة التبريد (ONAN)

حسباً يرتفع حمل المحول فإنه 60% إلى 80% من الحمل الكامل تكون طريقة التبريد (ONAF)

عندما يرتفع حمل المحول أكثر من 80% من الحمل الكامل تكون طريقة التبريد (OFAF)

5.7 عوازل الإختراق أو الجلب - Bushings

تدريج عازل الإختراق (Bushings) تسمى (Hollow insulators) أي عازل ليس بهوي بحوي،

اطراف
الملفات
خارج
المحول

عوازل
الإختراق
أو الجلب

خزان
المحول

اطراف
الملفات

ملفات
المحول



الشكل رقم (1-77)

أو مرور لموصلات من خلالها، وتكثف وظيفتها في تأمين العزل اللازم لموصلات في حال تطلب الأمر مرور هذه الموصلات خلال حاجز ما (إختراقه). وتعد المحولات من أهم التطبيقات التي تُوظف عوازل الإختراق (Bushings) للقيام بالمهمة سابقة الذكر، إذ يتطلب تصميم المحول أن يتم إخراج أطراف الملفات إلى خارج خزان المحول دون ملامسة الخزان الخاص بالمحول لفدات ربط المحول بمعدات الشبكة الكهربائية كما يظهر بالشكل (1-77)

كما وتُجدر الإشارة إلى أن ما مقداره قرابة 60% بالمتة من عوازل لإختراق (Bushings) المُستخدمة عامياً يتم توطيقها في المحولات الخارجية (Outdoor)

transformers، وما مقداره (20%) بالمئة تُستخدم في مُجمعات البصائر المعزولة بالعدر (Gas Insulated Switchgears - GIS)، وما مقداره (10%) بالمئة في المولدات (Generators)، وما مقداره أقل من (10%) بالمئة تكون على الجدران (Walls) أو لعائدات الفحص.

ويتم اختيار عازل الإختراق (Bushings) وفقاً لمستوى الموثوقية بالإضافة إلى مستوى تيار بشكل أساسي بالإضافة إلى السعة الشعبيه المحيطه و أي إعتبارات أخرى مثل حجم محولات التيار المراد استخدامها

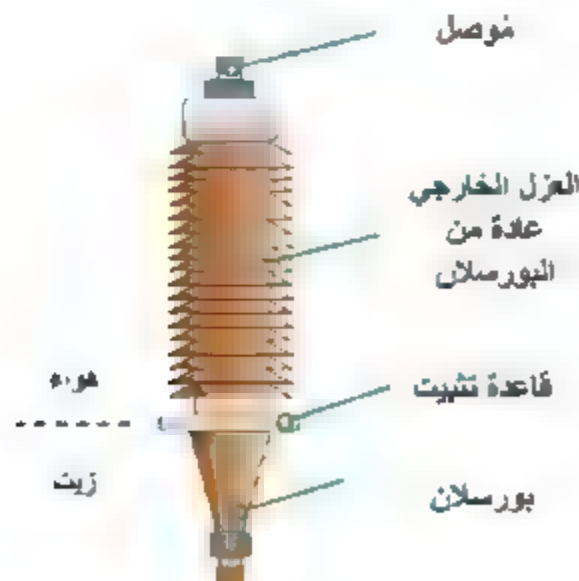
• أنواع عوازل الإختراق / جُلْب المحولات

يُمكن تصنيف عوازل الإختراق (Bushings) وفقاً لعدة أوجه منها ما هو حسب نوع الوسط العازل الخارجي عند طرفي عازل الإختراق ومنها ما هو تركيبي ومنها ما هو حسب نوع المادة العازلة دحل عازل الإختراق كالآتي:

○ حسب نوع الوسط العازل الخارجي عند طرفي عازل الإختراق - Insulating Media on Ends

يعتمد هذا التصنيف على نوع التطبيق (Application) أو نوع الميزنة المستخدمة فيه عازل الإختراق، بحيث تُصنف وفقاً لنوع الوسط العازل الخارجي عند المرده إلى الآتي:

- عوازل إختراق هواء - زيت (Air to Oil Bushings): في هذا النوع يكون أحد طرفي عازل الإختراق في الهواء ويكون الطرف الآخر مغمور بالزيت كما هو الحال في المحولات المغمورة بالزيت وغيرها من المعدات المغمورة بالزيت، كالمولدات والمفاعلات الحثية (Reactors) والمبين في الشكل (1-78).

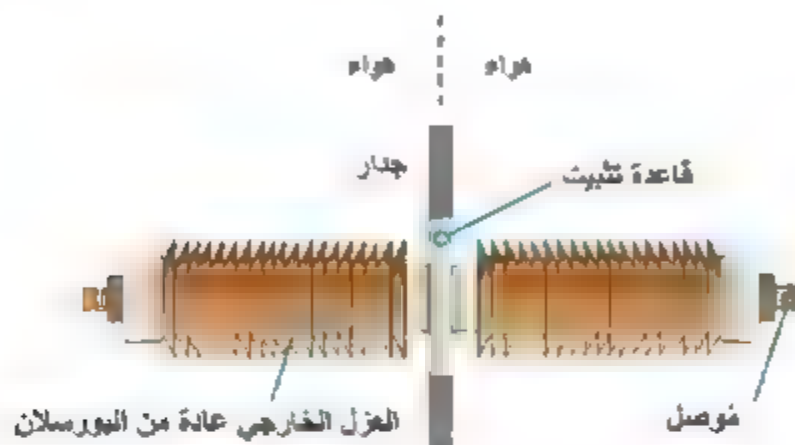


الشكل رقم (1-78)



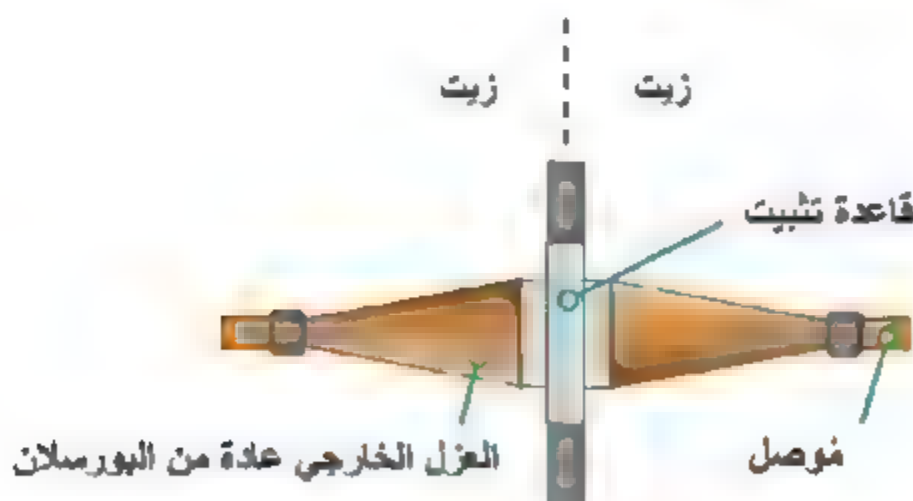
ملحوظة (1-12). كما يظهر، الشكل (1-78) أن طول حارل الإختراق الموحود بالزيت قُربة نصف طُول العازل الموحود بالهواء، أو أقل، ويعود ذلك إلى أن قوة لعزل (Dielectric strength) للزيت أكبر الصعف من نظيرتها للهواء الخارجى.

■ عوازل إختراق هواء – هواء (Air to Air Bushings): في هذا النوع يكون طرفى حارل الإختراق فى الهواء، وعادة ما يتم استخدامه لتغذية موصل خارج مبنى بحيث يكون أحد اصراف عزل الإختراق فى الهواء الداخلى للمبنى والأخر فى الهواء الخارجى كما هو مبين فى الشكل (1-79)



الشكل رقم (1-79)

■ أنواع خاصة أخرى من عوازل الإختراق ويبرز تحتها (Air to SF₆ bushings) و (Oil to SF₆ bushings) و (Oil to Oil bushings).



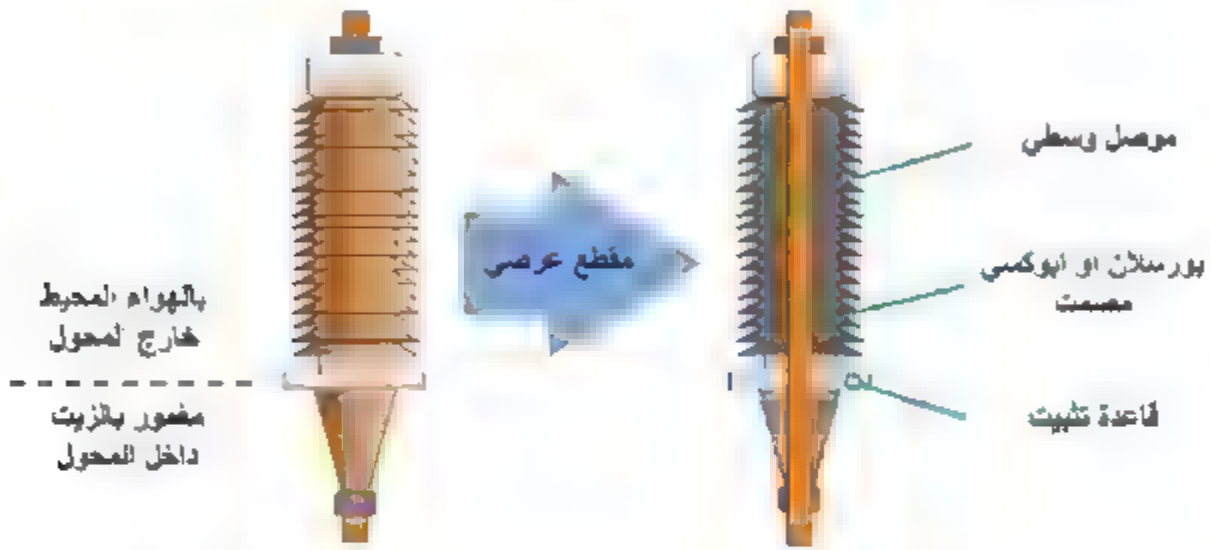
الشكل رقم (1-80)

○ حسب تركيب عازل الإختراق - Bushing Construction

تُصنف عوارض الإختراق (Bushings) وفقاً للتركيب إلى نوعين رئيسيين وهما

▪ عوازل الإختراق الصلبة - Solid or Ungraded Bushings:

يُعد هذا النوع من أبسط الأنواع حيث أنه يتكون من عازل أحرف من البورسلان أو الإيوكسي ويمكن أن يتوسطه موصل كهربائي كخزء من عازل الإختراق (Bushing) كما هو مبين في الشكل (81-1). و يُمكن أن يكون العزل لوحده دون الموصل وتستخدم هذا النوع بشكل رئيسي بتطبيقات ذات لفولتية المنخفضة أي أقل من (25 kV) كيلوفولت

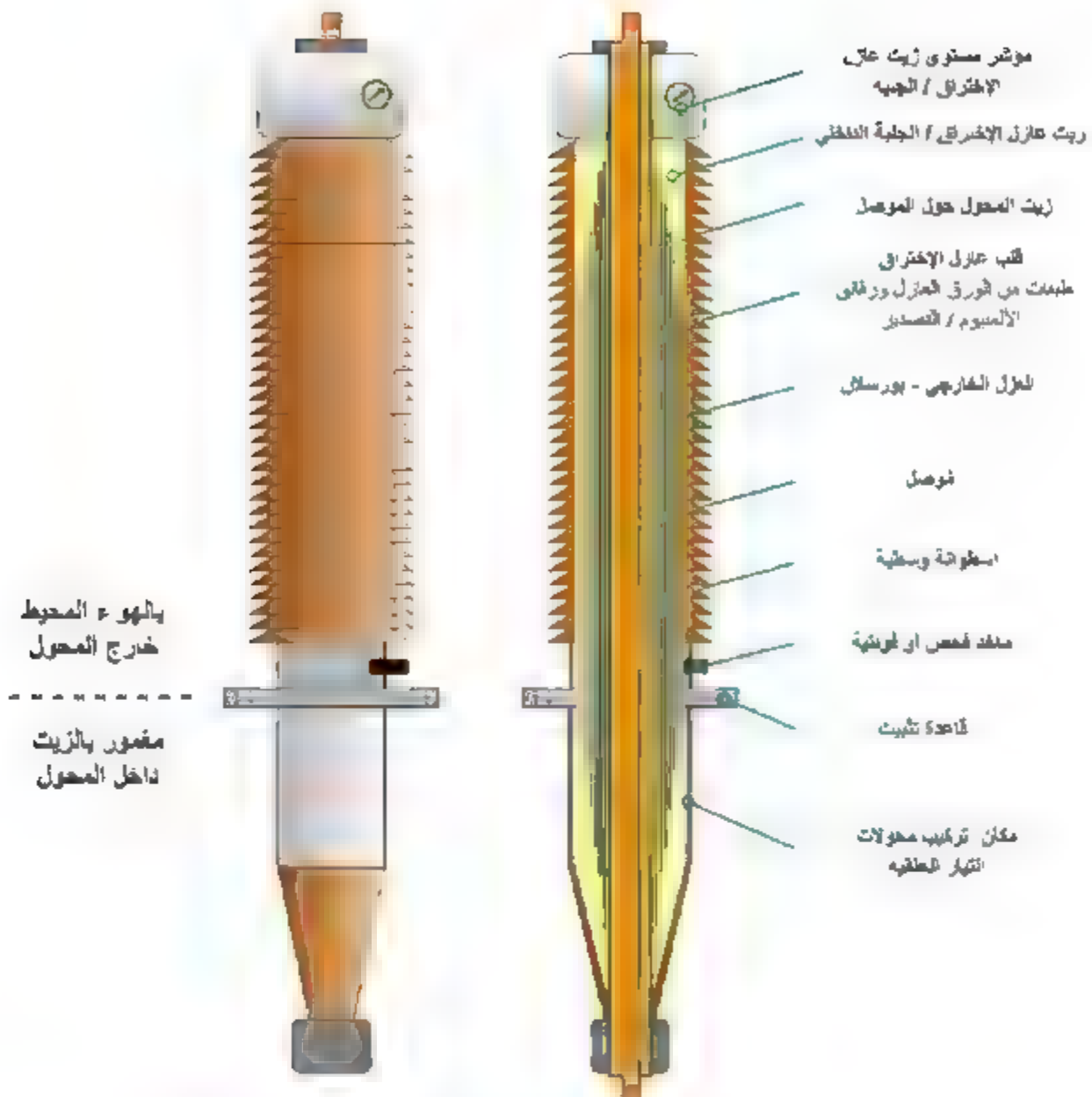


Solid or Ungraded Bushing

الشكل رقم (81-1)

▪ عوارض الإختراق ذات العزل السعوي المُتدرج - Capacitive Graded Bushing:

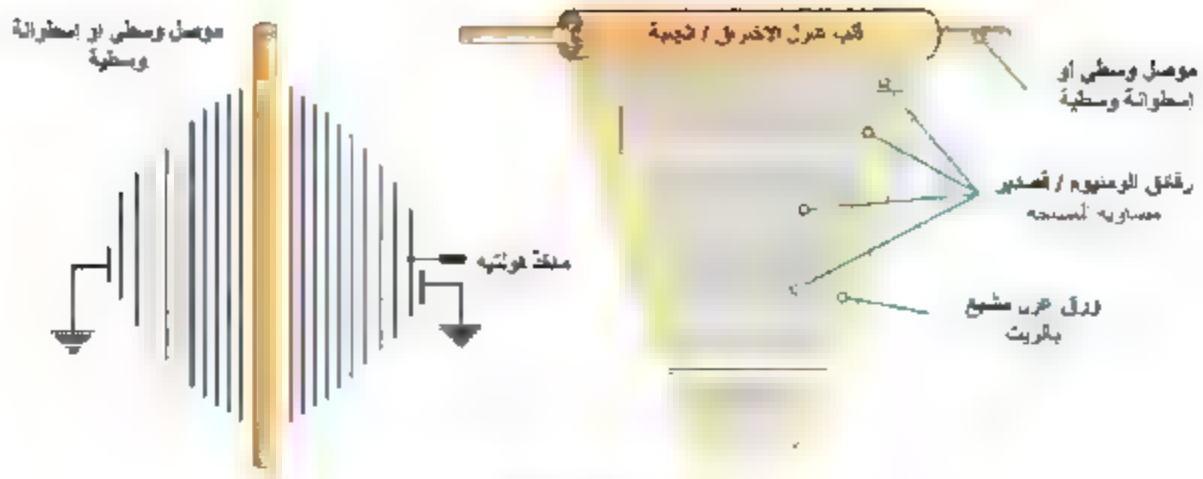
مع تطور الصمم الكهربائي عبر الزمن وما صاحبه من ارتفاع في مستوى لفولتية كان لابد من إيجاد بديل للعوارض الإختراق الصلبة (Solid/Ungraded Bushings) سريعة البكر و ذلك لعدم قدرتها على تحمل الفولتيات المرتفعة. وقد بدورة أدى ظهور ما يُسمى عوارض الإختراق ذات العزل سعوي المُتدرج (Capacitive Graded Bushings) لما لها النوع من قدرة على توزيع المجال الكهربائي خارج عازل الإختراق بشكل أفضل من نظيراتها لصلبة الصممه (Solid / Ungraded) خاصة للفولتيات الأكبر من (25kV) كيلوفولت.



Capacitive Graded Oil Impregnated Paper (OIP) Bushing

الشكل رقم (1-82)

حيث يتكون هذا النوع من عوارل الإحتراق (Bushings) من موصل وسطي (Central conductor) أو أسطوانة وسطية (Central Tube) سم أعين من الخارج بورق عزل مُشبع بالزيت (Oil Impregnated Paper - OIP) كما هو مبين بالشكل (1-82) ومُشبع بالراتنج أو الصمغ (Resin Impregnated Paper - RIP) كما هو مبين بالشكل (1-88)، بحيث يكون الوجه الداخلي لورق العزل عبارة عن رقائق الألمنيوم أو ما يُسمى بالعصدير (Aluminum foil) كما هو موضح بالشكل (1-83)، مما يؤدي لتكوين مجموعة من المواسعت الموصولة على التوالي والتي من شأنها التحكم وتوزيع المجال الكهربائي لمحوري (Axial Electrical Field) و الشعاعي/القُطري (Radial Electrical Field).



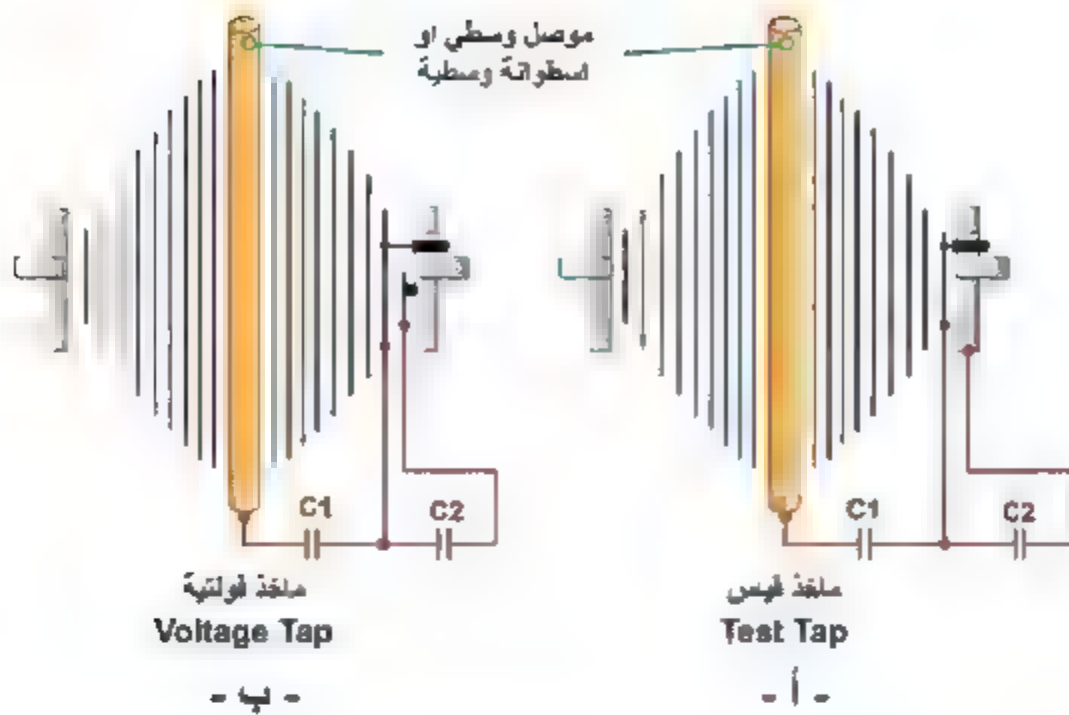
الشكل رقم (1-83)

وسمى هذا النوع بوجود نوعين من المأخذ (Taps) موجودة عند قاعدة شجب عازل الإحتراق (Mounting flange) من الخارج، النوع الأول وهو مأخذ الفحص (Test Tap) ويكون مخصص لإجراء الفحوصات على عزل الإحتراق (Bushing) كفحوصات معامل السدد و إقفره (DF & PF) ونحسب أيضا سرعة (C) وفحص التفرع الحرقي (PD)، حيث يتكون هذا المأخذ من غطاء مسنن (Threaded cover) يكون تحته مسمار (Pin) متصل بأخر الدقة (الأمبيوم/قصدير (Aluminum foil) داخل عازل الإحتراق (Bushing)، بحيث يُشير إلى قيمة المواسعة بين المسمار (Pin) الخاص بهذا المأخذ (Test tap) و الموصل الوسطي (Central Conductor) و الأسطوانة الوسطية (Central Tube) بالمواسعة رقم واحد (C1)، ونُشير في قيمة المواسعة بين المسمار (Pin) الخاص بهذا المأخذ (Test tap) وقاعدة التثبيت (Mounting flange) أو الأرضي بالمواسعة رقم ثمان (C2) كما هو مبين في الشكل (1-84) (أ)، ويكون قيمة هاتين المواسعتين مثنى على لوحة البيانات (Name plate) الخاصة بعازل الإحتراق لعديد المقارنة عند الفحص.

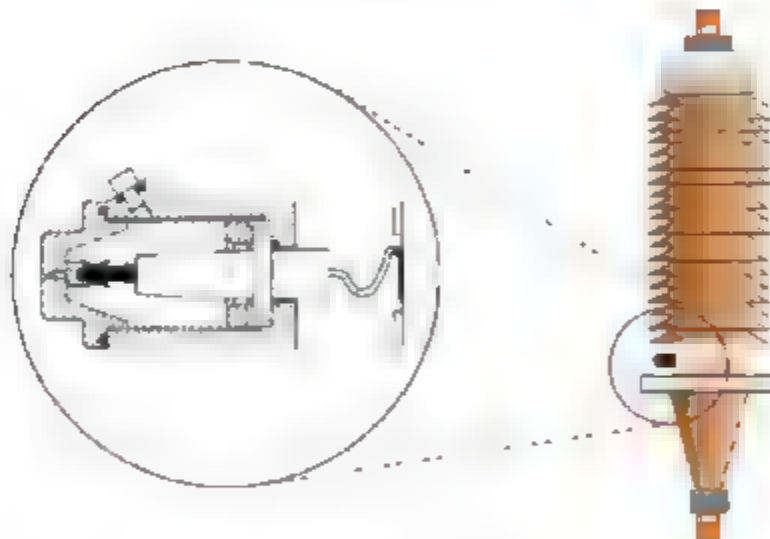
ونكون وحيدة غطاء المأخذ المسنن (Threaded cover) مابين الذكر هو تأمين التأريض اللازم لأخر الدقة (الأمبيوم/قصدير (Aluminum foil) في حال كان عزل الإحتراق (Bushing) في الخدمة أي أنه تحت تأثير الفولتية، أما في حال كان عزل الإحتراق (Bushing) خارج الخدمة أي أنه مفصول عن مصدر الفولتية و بعدات الفحص يتم إزالة هذا الغطاء ليُصبح المسمار (Pin) غير مؤرض، ويتم عملية الفحص لإستخراج قيمة المواسعة (C1) و التي تُعطي إبطاع عن حالة عازل الإحتراق (Bushing) الخاصة

أما فيما يخص النوع الثاني من المأخذ وهو مأخذ الفولتية (Voltage/Potential Tap) مبين في الشكل (1-84) (ب)، فإنه عادة ما يتم استخدامه لعوارل الإحتراق (Bushings) ذات الفولتيات المرتفعة (أكبر من 69 كيلوفولت) و تكمن وظيفته في تأمين مأخذ فحص كما هو الحال في المأخذ سابق الذكر (Test Tap) بالإضافة إلى تأمين مصدر فولتيه للمعدات المساعدة إن وجدت.

كما ونحذر لإشارة إلى أن المواسعة (C1) عادة ما تكون متقاربة بالقيمة مع المواسعة (C2) مأخذ الفحص (Test Tap)، أما فيما يخص مأخذ الفولتية (Voltage/Potential Tap) فإن قيمة المواسعة (C1) تكون أقل بكثير من المواسعة (C2)



الشكل رقم (1-84)



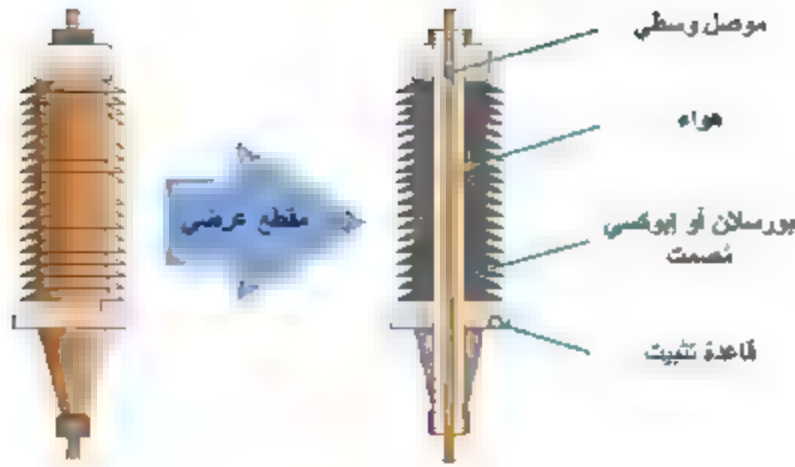
الشكل رقم (1-85)

○ حسب نوع المادة العازلة داخل عازل الإختراق - Bushing inside insulation

تُصنف عوارض الإختراق (Bushings) وفقاً لنوع المادة العازلة إلى الأنواع التالية:

▪ عوازل الإختراق المعزولة بالهواء - Air Insulated Bushings

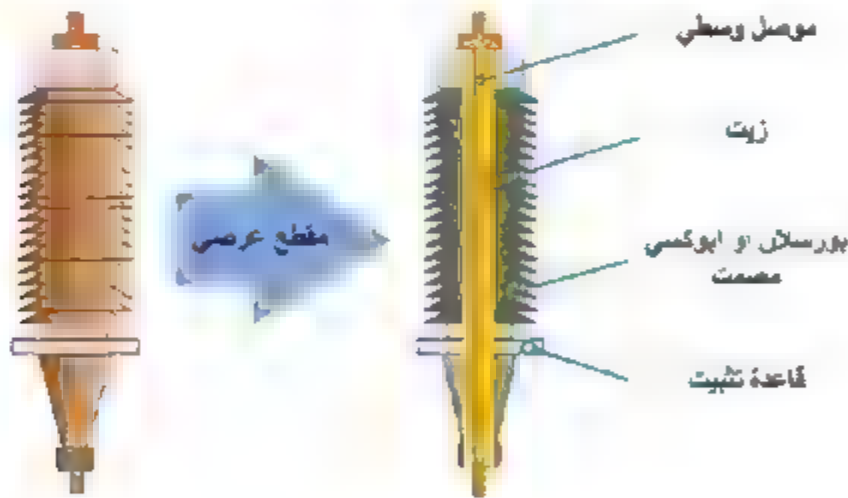
وهي إحدى أنواع عوارض الإختراق الصلبة (Solid/Ungreased Bushings) حيث يكون الهواء هو الوسط العازل الداخلي بين الموصل (Conductor) والعزل الخارجي، وعندها يكون هذا العزل الخارجي مكون من مادة البورسلان كما هو مبين في الشكل (1-86)



الشكل رقم (1-86)

▪ عوارل الإختراق المعزولة بالزيت أو المملوءة بالزيت Oil Insulated or Oil Filled Bushings

وهي إحدى أنواع عوارل الإختراق الصلبة (Solid/Ungraded Bushings) حيث يكون الزيت المعدني هو لوسط العازل الداخلي بين الموصلين (Conductor) و لعازل الخارجي، وسادة ما يكون هذا العزل الجداري مُكوّن من مادة ايوكسيلا، كما هو مبين في الشكل (1-87)



الشكل رقم (1-87)

▪ عوارل الإختراق ذات العزل المُتدرّج المُشبع بالزيت Oil Impregnated Paper Bushings OIP

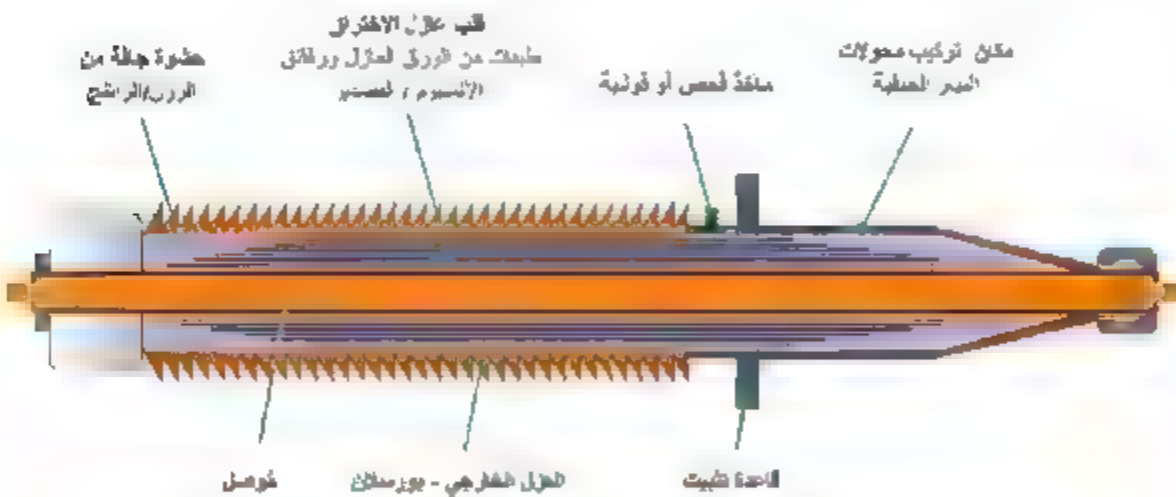
وهي إحدى أنواع عوارل الإختراق ذات العزل المُتدرّج (Graded Bushings) حيث يكون ورق العزل الموجود حته مُشبع بالزيت، ويتم نوع الفراغ بين العزل الداخلي (OIP) أو ما يُسمى بنسب عازل الإختراق والعزل الخارجي لعزل الإختراق و مُكوّن عادة من ايمورسلان بالزيت المعدني كما هو موضح في الشكل (1-82) ويُعد هذا النوع من أكثر الأنواع إشتاراً في محاولات القدره ذات القوتيه المرعبة

ومن مميزات هذا النوع هو سعره المنخفض نسبياً وإمكانية فحص الزيت خاص به للكشف عن حالة عزل الإحتراق، ومن سيئاته هو إمكانية التفتت والتسبب بحرق بالعمود وكذلك إمكانية حدوث سريبات الزيت بالإضافة إلى الحاجة للتخزين بوضع مائلة (بشكل عمودي أو مائل بزاوية معينة)

■ عوارل إحتراق ذات العزل المُتدرج المُشبع بالراتنج/الصبغ - Resin Impregnated Paper Bushings RIP

وهي إحدى أنواع عوارل الإحتراق ذات العزل المُتدرج (Graded Bushings) حيث تكون ورق اعزل الموحى داخله مُشبع بالراتنج أو الصبغ (Resin)، ويتم ملئ الفراغ بين العزل الداخلي (RIP) وما يُسمى بقلب عززل الإحتراق والعزل الخارجي لعزل الإحتراق والمُكوّن عادة من البوليميلان بمادة عزل جافة أو غيرها من المواد العازلة كما هو موضح في الشكل (1-88)

ومن مميزات هذا النوع أنه ذو قلب (RIP) غير قابل للإشتعال على العكس من النوع (OIP) سبق ذكره، وكذلك ذو مستوى تسريع حرثي (Partial discharge) منخفض مما يُشجع استخدامه في لتطبيقات ذات المولتية المرتفعة، ومن سيئاته سعره المرتفع نسبياً



Capacitive Graded Resin Impregnated Paper (RIP) Bushing

الشكل رقم (1-88)

■ عوارل الإحتراق ذات القلب المُكوّن من طبقات من الورق والراتنج - Resin Bonded Bushings RBP

حيث يتكوّن هذا النوع من عوارل الإحتراق (Bushings) من موصّل وسطي (Central conductor)، أو إسطوانة ومسطبة (Central Tube) يتم ملئها من الخارج بورق عزل بحيث تكون لوحة بداخلي لورق العزل مُغطى بطبقة رقيقة من الراتنج (Epoxy resin) ويحلأها مادة شبه موصلة مثل العرقيت (Graphite) أو الكربون (Carbon) بهدف عمس تدرج لمجال كهربائي لتدريج عن الموصّل الوسطي، ويتم ملئ الفراغ بين العزل الداخلي (RBP) أو ما يُسمى بقلب عزل

الإخترق ولعزل الخارجي لعزل الإخترق و تُكُون عادة من 'مورسلان من الزيت أو البوم (Foam) و تُحْتَر الإشارة إلى أن هذا النوع تم التوقف عن تصنيعه حالياً

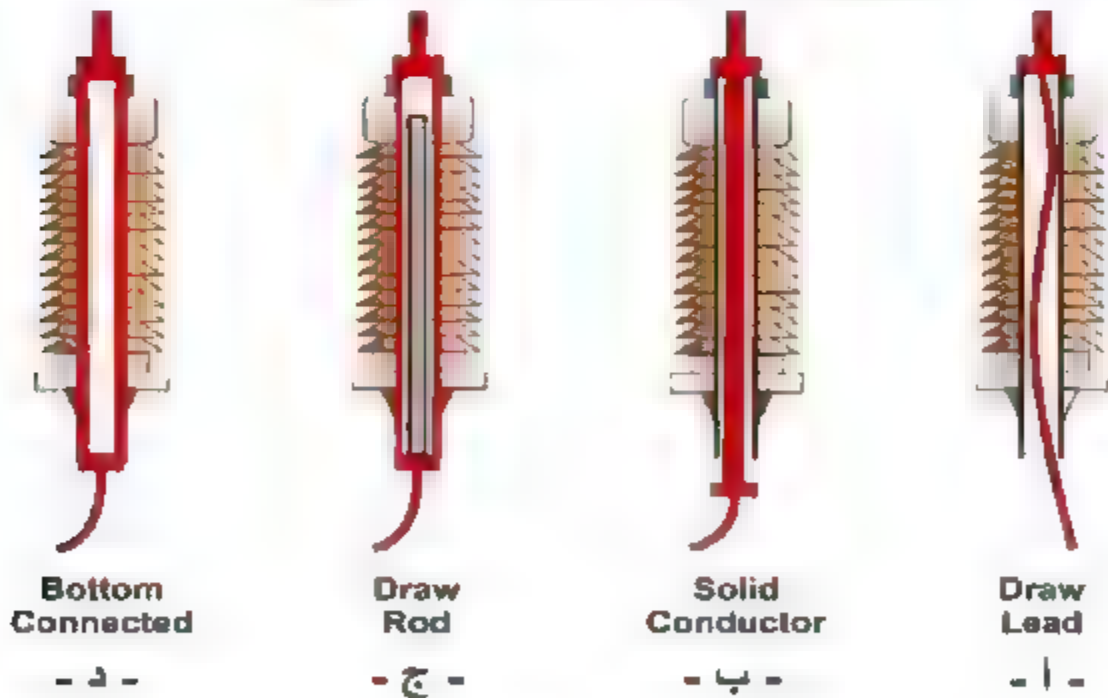
ومن مميزات هذا النوع هو أنه ذو قلب (RBP) غير قابل للإشتعال على العكس من النوع (OIP) و ذو سعر منخفض نسبياً و من صفاته أنه ذو مستوى تفرغ جزئي (Partial discharge) مرتفع وعدم ملائحة يستخ منه في التطبيقات ذات الفولتية المرتفعة الأكثر من (400 kV) كيلوفولت وكذلك إمكانية دخول الماء للقلب في حال التخزين الخاطئ

• عوازل الإخترق المعزولة بالغاز - Gas Insulated Bushings

في هذا النوع من عوازل الإخترق يكون العازل المضغوط - عادة غاز سداسي فلوريد الكبريت SF_6 - هو وسط العزل بين الموصل الوسطي (Central conductor) و لعزل الخارجي والمُكُون عادة من البورسلان أو المطاط.

• أنواع توصيلات عوازل إخترق المحولات

هناك أربعة أنواع رئيسية لتوصيلات العوازل بعوازل إخترق المحولات (Bushings) كما هو مبين: **الشكل (89-1)**، حيث يُظهر اللون الأحمر مسار التيار داخل عازل الإخترق



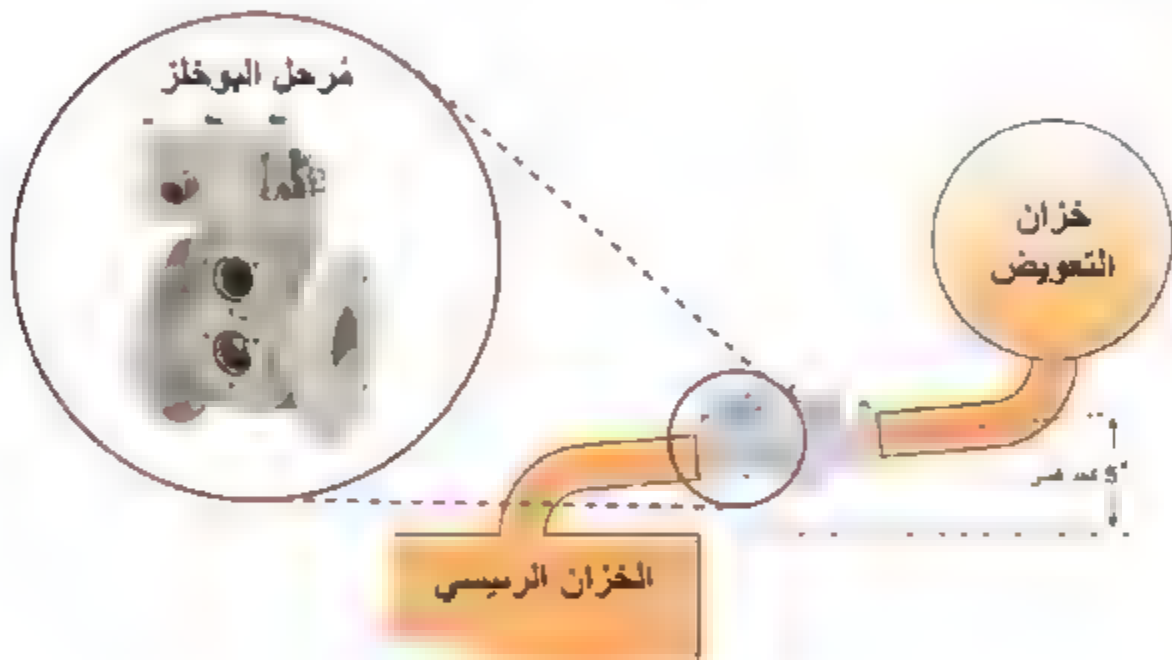
الشكل رقم (89-1)

5.8 مَعَدَّات المُرَاقِبَة والحِمايَة الفِيزيائية المِساعدَة – Monitoring and Physical Protection Accessories

هناك عدد من المَعَدَّات المُستخدَمة التي يتم تركيبها على المحول بهدف المراقبة بالإضافة إلى تأمين الحماية اللازمة في حال حدوث أعطال وهي كالآتي:

• مُرَحِّل البُوخْلز – Buchholz relay

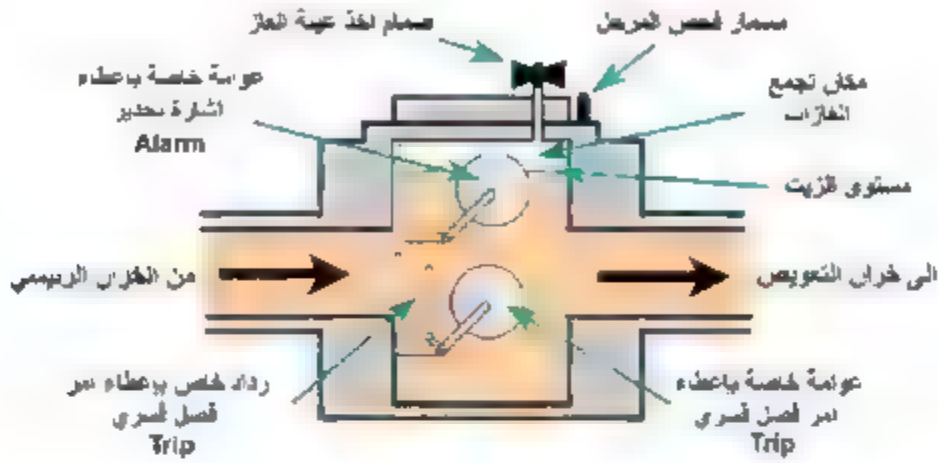
عادة ما يتم استخدامه للمحولات ذات الجهد الأكبر من (500kVA) كيلو فولت أمير لأسباب اقتصادية، ويتم تركيب هذا المرحل على أنبوب الزيت الرئيسي لواصل بين خزان التبريد (Conservator tank) و الخزان الرئيسي (Main tank) أو حجرة مُعَيَّر الحِطُوة من نوع (OLTC) كما هو مبين بالشكل (1-90)



الشكل رقم (1-90)

كما هو معروف أن أغلب الأعطال الداخلية في المحول تؤدي لظهور بعض إحماء في الممتد أو انسداد الزيت ونتيجة لذلك سوف تخرج مجموعة من الغاز والتي سوف تصعد لأعلى نقطة في المحول وهو خزان التبريد (Conservator tank) مروراً بمرحل البوخلز، وهنا تكمن وظيفته مُرَحِّل البوخلز وهي جمع هذه الغازات في حجرة أعلى المرحل كما يظهر بالشكل (1-91)، مما يؤدي إلى إخماد مستوى الزيت ونبول العوامة (Float) الغلوته مُصدرًا إشارة تحذير (Alarm) لا تؤدي إلى فصل المحول، ويُعتبر حجم هذه الحجرة من (100ml - 300ml) مليلتر.

أما فيما يخص العوامات السفلية فإنها تعمل في حالة انخفاض مستوى زيت المحول نتيجة بوجود تسريب زيت مما يؤدي لبروز العوامة العلوية مصدرة إشارة تحذير (Alarm) ومن ثم العوامة السفلية مُصدرة أمر فصل قسري للمحول (Trip)



الشكل رقم (1-91)

وفي حال حدوث عطل كبير (حريق) داخل المحول أدى لارتفاع الضغط فإن الزيت الموجود في الخزان الرئيسي سوف يبدأ بالحركة السريعة باتجاه خزان التعويض (Conservator tank) مروراً بمرحلة التوجيه مؤدياً إلى تحريك الرداد مثبت على العوامة السفلية واصدار أمر فصل قسري للمحول (Trip) وهذا ما يُسمى بـ (Oil surge)، حيث أن هذا الرداد يتحرك في حال كانت سرعته تدفق الزيت إلى خزان التعويض من (1m/s - 3m/s) متر/ثانية أو أكثر من ذلك



الشكل رقم (1-92)

لشكل (1-92) (ب) يوضح حركة العوامة العلوية للمرحل الموحتر في حال تجمع الزيت مما يؤدي لإصدار إشارة تحذير (Alarm) فقط، و الشكل (1-92) (ج) يوضح حركة العوامة العلوية والسفلية في حال حدوث تسريب لزيت من الخزان الرئيسي وبروز مستوى الزيت مما يؤدي لإصدار إشارة تحذير (Alarm) و أمر فصل قسري (Trip) للمحول.

في حال نفقّل مُرحل موحتر ويتمدد لإشارة التحذير (Alarm) يُمكن أحد عييه من العازات لفتحهمه في المرحل بواسطة الصمام أمنى في الشكل (1-91) وتحليل هذه العازات لمعرفة التركيب الكيميائي ومنه يتم

معرفة نوع لعرض الداخلي في المحول، كما ويمكن فحص عينه اعاز بطرق بسيطة كالنصر و انشم و بحرق مباشر وفقاً لما ول (1-10) الاي كما ورد في كتاب [المحولات الكهربائية، الجزء الأول، الدكتور كامل محمد]

الجدول رقم (1-10)

حالة الفارات	مصدر العطل
عديم اللون، والرائحة و غير قابل للإشتعال	وجود هواء داخل المحول - أقل خطراً وقد يكون تسرب بعض الهواء للمحول أثناء معالجة الزيت
عديم اللون والرائحة وقابل للإشتعال	عطل داخل المحول
أبيض او رمادي	ورق العزل
أصفر	أجزاء خشبية
أسود	زيت

ملحوظة (1-13): يتم تصميم الأنبوب احسن المُرَحَّل البوخر بشكل أفقي مع وجود ميلان بزاوية صغيرة (1° إلى 5°) درجات عن الخط الأفقي وذلك بمساعدة فقاعات الهواء، الإتصال مع الحزن الرئيسي والتوصيل لمُرَحَّل البوخر وعدم يكون جيوب هوائية في الأنبوب مما يحول دون وصول هذه الفارات إلى مُرَحَّل البوخر.



• صمام الإغلاق الذاتي - Auto-shutoff Valve

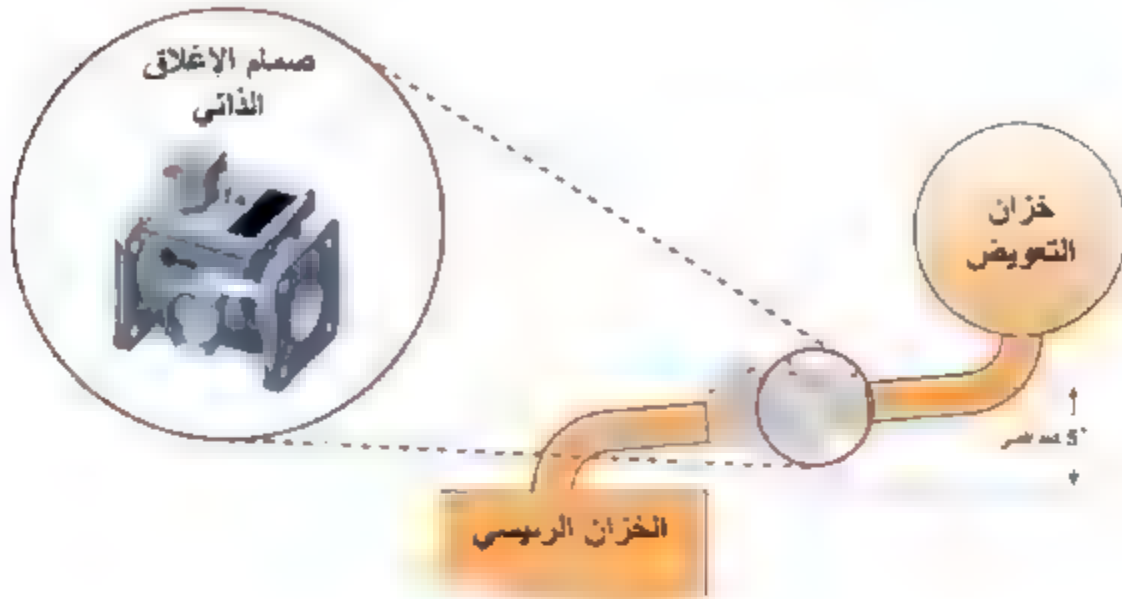
في وضع التشغيل الطبيعي للمحول يكون إتجاه تدفق الزيت بين خزان التعويض (Conservator) و لخزان رئيسي (Main tank) بالإحساس بتسعة امتداد وتقلص الزيت مع الحرارة، وفي حالة ملئ حجم الزيت تسببه لإحتفاظ حجم المحول أو بخصائص درجة حررته البيئة المحيطة بتدفق الزيت من خزان التعويض باتجاه الحزن الرئيسي، أما في حالة زيادة حجم الزيت تسببه لزيادة حجم المحول أو بزيادة درجة حرارة البيئة المحيطة يتدفق الزيت من الخزان الرئيسي باتجاه خزان التعويض، وتكون سرعة التدفق في الأوضاع الطبيعية سابقة الذكر منخفضة نسبياً.

أما في الأوضاع غير الطبيعية فهناك احتمالان:

الإحتمال الأول: حدوث عطل داخلي أدى لارتفاع الضغط داخل خزان الرئيسي و تدفق زيت بسرعة من الخزان الرئيسي باتجاه خزان التعويض، وفي هذه الحالة يتولى مُرَحَّل البوخر مهمة حماية المحول و مصدر أمر الفصل القسري للمحول (Trip) كما تم شرحه مسبقاً.

الإحتمال الثاني: حدوث تسرب زيت كبير من الخزان الرئيسي أدى لتدفق زيت بشكل سريع من خزان التعويض باتجاه الحزن الرئيسي، وفي هذه الحالة يتولى صمام الإغلاق الذاتي (Auto-shutoff Valve)

أو ما يُسمى بالـ (Shutter Valve) مهمة حماية المحول و دأك بالإغلاق و إصدار أمر فصل قسري للمحول (Trip)



الشكل رقم (1-93)

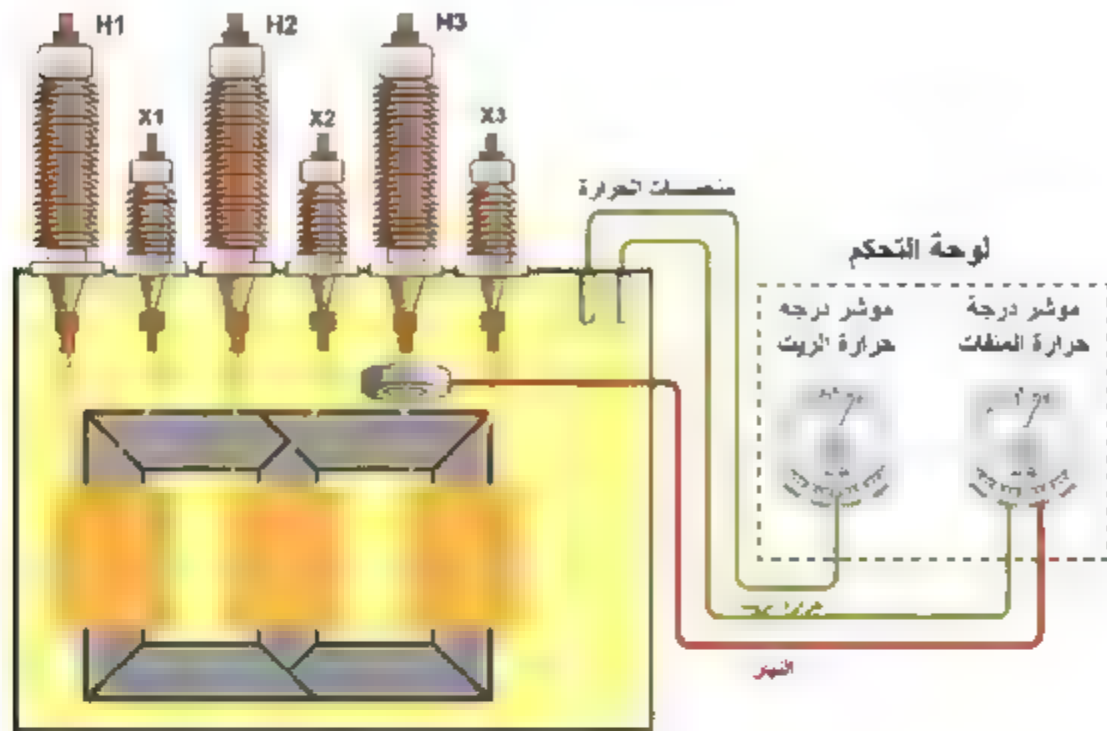
عادة ما يتم تركيب صمام الإغلاق الألي على الأنوب الرئيسي الواسل بين حرن التعويض و حرن الرئيسي. في جانب مرحل الموحل كما هو مبين في الشكل (1-93)، وتتكون هذا الصمام من حرتين لربيت. وعندما يتحسس حرن فرق في الضغط بين الحرتين نتيجة لسرعة تدفق الزيت، ينتج حرن الرئيسي نغوم بالإغلاق و إصدار أمر فصل قسري للمحول (Trip) كما ذكر سابقاً حيث أن العوامة (Float) الخاصة بهذا الصمام تنحرف في حال كانت سرعة تدفق الزيت أكثر من $(30 \text{ dm}^3/\text{min})$ نسبي متر مكعب / دقيقة

ويكش الهدف الرئيسي من إعلان الصمام أنه في حال وجود تسريب زيت كبير من الخزان الرئيسي قد يؤدي إلى إخماد كامل كمية زيت من حرن التعويض مما يعني وصول الهواء إلى الخزان الذي مما يزيد احتمالية حدوث قوس كهربائي ولذا فإن إغلاق الصمام و فصل المحول يُعَدُّ أكثر الحلول حاجة في هذه الحالة

• مؤشر حرارة الزيت – Oil Temperature Indicator OTI

كما ذكر سابقاً فإن أغلب الأعطال الدخبية للمحول عادة ما تُنتج حرارة عالية يتم تركيب هذا المؤشر لمراقبه حرارة الزيت أثناء عمل المحول، وتتكون هذه المُعدة من حساس حرارة لتحسس حرارة زيت بشكل مباشر ويتم تركيبه في أعلى نقطة من الخرن الرئيسي للمحول ويكون موصول بمؤشر درجة الحرارة لموجود في لوحة التحكم المُثبتة على حرن المحول من الخارج عبر أنابيب شعيرة (Capillary tubes) كما هو مبين في الشكل (1-94) و في جانب قياس درجة حرارة الزيت وعرضها عبر المؤشر فإن لهذا جهاز وظائف أخرى كالتحكم في عمل مراوح التبريد في حال إرتفاع الحرارة بالإنبافه إلى إصدار إشارة

تحذير (Alarm) و أمر فصل قسري المحول (Trip) في حال تجاوزت حرارة الزيت حدوده مسموحة مسبقاً



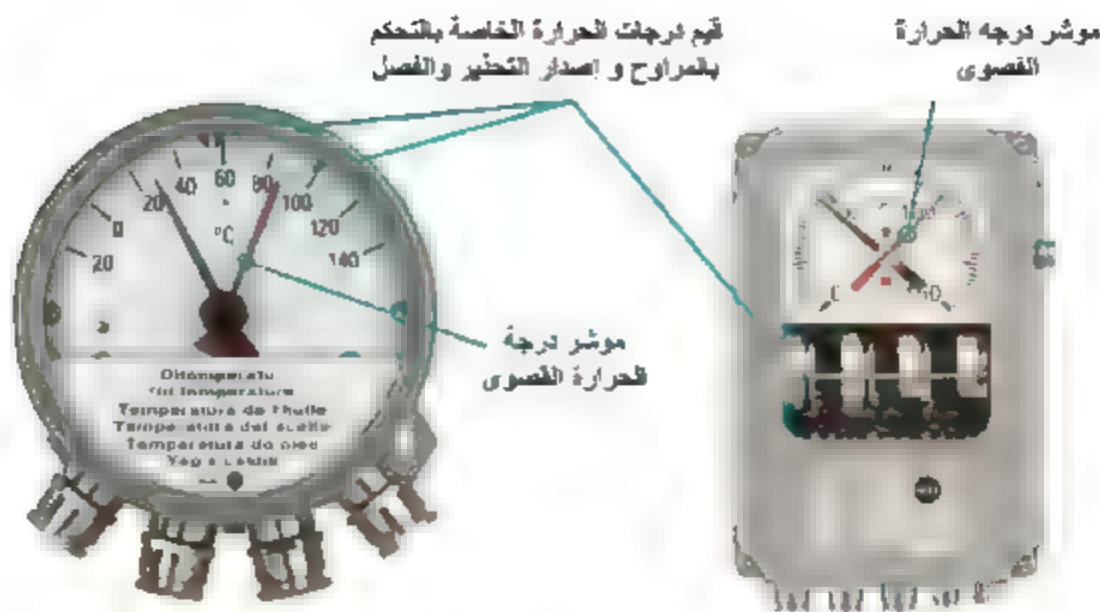
الشكل رقم (1-94)

كما وتحتُر الإشارة إلى أنه في بعض التصاميم يكون هنالك مؤثران الزيت أحدهما لقياس درجة حرارة الزيت العلوي ويسمى (Top Oil Temperature Indicator) والآخر لقياس درجة حرارة الزيت السفلي ويسمى (Bottom Oil Temperature Indicator)

وفي التصميم الحديثة لمحولات عادة ما يكون هنالك مؤشرين لدرجة حرارة للزيت، أحدهما لتحكم بمراوح التبريد والآخر لحماية من ارتفاع درجة الحرارة وإصدار إشارة لتحذير (Alarm) وأمر انفصل القسري المحول (Trip) وذلك لريده الموثوقة حيث تدور فاسعة هذا التصميم في انفصل من أجهزة التحكم وأجهزة الحماية

• مؤشر حرارة الملفات – Winding Temperature Indicator WTI

غنى المطبق من مؤشر حرارة الزيت (OTI) هنالك مؤشر لقياس درجة حرارة الملفات أيضاً له نفس الوظيفه في بعض الأحيان من قياس الحرارة و التحكم بمراوح التبريد ومصحة الزيت بالإضافة إلى إصدار إشارة تحذير (Alarm) وأمر فصل قسري المحول (Trip) في حال تجاوزت حرارة الملفات حدود مسموحة مسبقاً و نظراً لتعدد تركيب الملفات ونظام عزلها سابق الذكر بالإضافة لتسهيل عملة لصيانة فيه من غير القمقز وضع حساس حرارة لحاص بهذا المؤشر من الملفات، لذلك يتم اللجوء إلى تبرقه غير مباشره (Thermal Imaging) لمعرفة درجة حرارة الملفات عن طريق اشتقاقها من درجة حرارة الزيت و مقدار التيار المار في الملفات كما هو موضح بالشكل (1-94).



الشكل رقم (1-95)

الشكل (1-95) يبين الأجزاء الرئيسية لمؤشر الحرارة مع قيم درجات الحرارة الخاصة بالتحكم بالمراوح وإصدار إشارة التحذير (Alarm) و النصل لفسري المحول (Trip). وكمثال يتم ضبط درجات الحرارة الخاصة بالمؤشر كالآتي عند 60° درجة مئوية يتم إصدار أمر تشغيل المراوح وعند 75° درجة مئوية يتم إصدار أمر تشغيل مضخة تبريد إن وجدت و عند 110° درجة مئوية يتم إصدار إشارة تحذير (Alarm) و عند 120° درجة مئوية يتم إصدار أمر فصل فسري المحول (Trip).

كما ونحذر الإشارة إلى أنه في بعض التصميم يتم اعتماد مؤشرين لدرجة حرارة المصابيح أحدهما لمصابيح لموتانية المرتفعة وتسمى (HV Winding Temperature Indicator) والآخر لمصابيح فولتية منخفضة وتسمى (LV Winding Temperature Indicator).

ملحوظة (1-14). من الشكل (1-95) يمكن ملاحظته وجود مؤشر بالنون الأحمر وطيفته تحديد أعلى قيمة درجة حراره وصل إليها الزيت أو المصابيح وبين عند هذا في حال ارتفاع درجة الحرارة الحدود معينة ثم انخفضت بعد ذلك فإن هذا للمؤشر يعني عند وبعينه ولا يخفض بالخصائص المؤشر الرئيسي وعند عميات الصيانة يتم عمل Reset لهذا المؤشر يدوياً بجعله ملاصق للمؤشر الرئيسي.



• مؤشر مستوى الزيت – Oil Level Indicator

يتم تثبيت مؤشر مستوى الزيت على حزان التبريد (Conservator tank) الخاص بالحرارة الرئيسي و الخاص بمعدّل الخطوط (Tap-changer) إن وُجد كما هو مبين في الشكل (1-25)، و تكون هذه المُعدّلة بشكل مُستط من المؤشر الخاص بمستوى الزيت بالإضافة إلى أعومته (Float) الموجودة داخل حزان

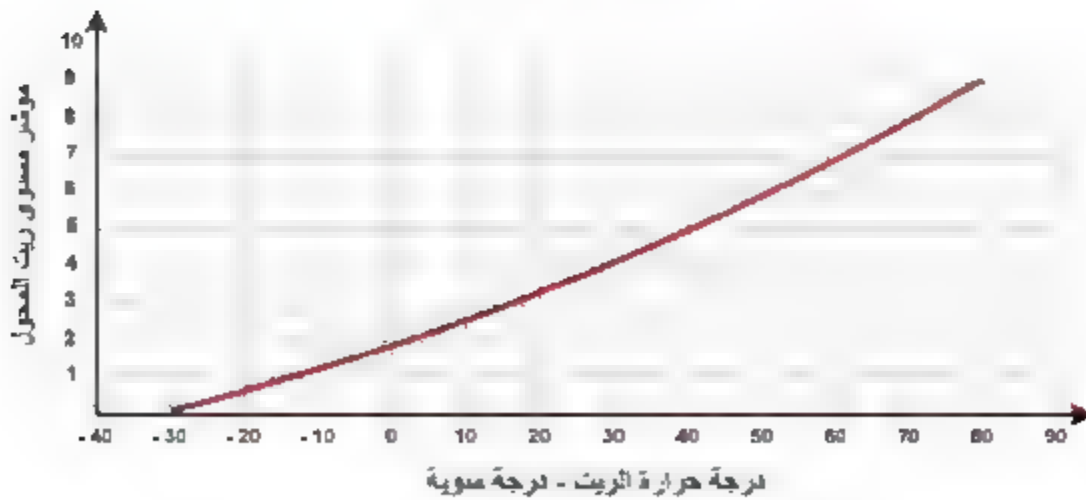
للعويص (Conservator tank) وبخلاف وفقاً للتصميم؛ قد يكون مبدأ العمل شاسعاً أو عن طريق تروس و (Coupling magnet)

و فيما يخص كيفية أحد قراءه هذا المؤشر فإن التدرج الخاص بهذا المؤشر يختلف من تصميم لآخر، حيث نكتفي بعض التصاميم بوضع متوسط، أحد الطسعي الزيت عند درجة حرارة مرجعية عدة ما يكون (25° أو 20° أو 15°) درجة مئوية و كذلك لأحد الأعلى والأدنى (Max و Min) مستوى الزيت كما هو مبين في الشكل (1-96) (أ)، وبعض التصاميم وصعب أرفاد فقط كما هو مبين في الشكل (1-96) (ب) وأرفاد مبين خاص بهذا المؤشر تبين مستوى الزيت بالنسبة لدرجة حرارة الزيت في وقت أخذ القراءة كما هو مبين في الشكل (1-97)

وعند وصول المؤشر عند أحد الأعلى أو الأدنى يقوم بإصدار إنذار بصير (Alarm) لا يؤدي إلى فتح المحول، وهذا لك بعض المحولات تقوم مؤشر مستوى الزيت بإصدار إنذار فصل قسري لهذه المحولات (Trip)



الشكل رقم (1-96)



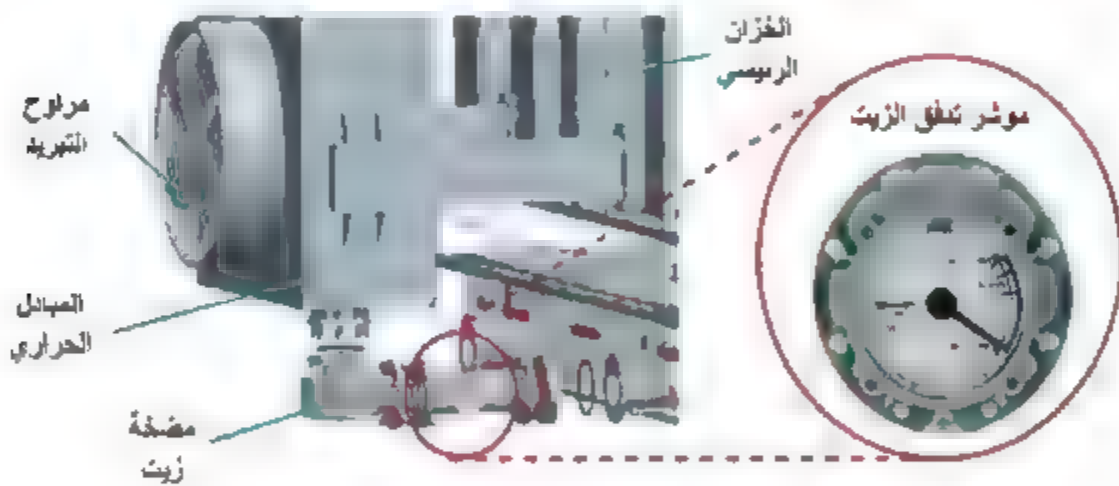
الشكل رقم (1-97)

لقراءة مستوى الزيت الخاص بالشكل (1-96) (ب) بشكل صحيح، أولاً نقوم بقراءة الرقم الموجود على المؤشر ومن ثم نقوم بقراءة درجة حرارة الزيت من مؤشر درجة حرارة الزيت. وبعد ذلك وبالرجوع للمحكي المبين في الشكل (1-97) نقوم بإيجاد مستوى الزيت المثالي.

• مؤشر تدفق الزيت – Oil Flow Indicator OFI

يتم استخدام هذا المؤشر مع المحولات ذات طريقة التبريد التي تعتمد على الدوران العكسي لزيت المحول (Oil Forced – OF) أي التي تحتوي على مضخة زيت، وذلك للتأكد من أن مضخة زيت تعمل بشكل جيد وتضخ الزيت بالاتجاه الصحيح وكذلك التأكد من عدم وجود انسداد في طريق الزيت مما يمنع تدفقه بالكمية اللازمة لخزان المحول.

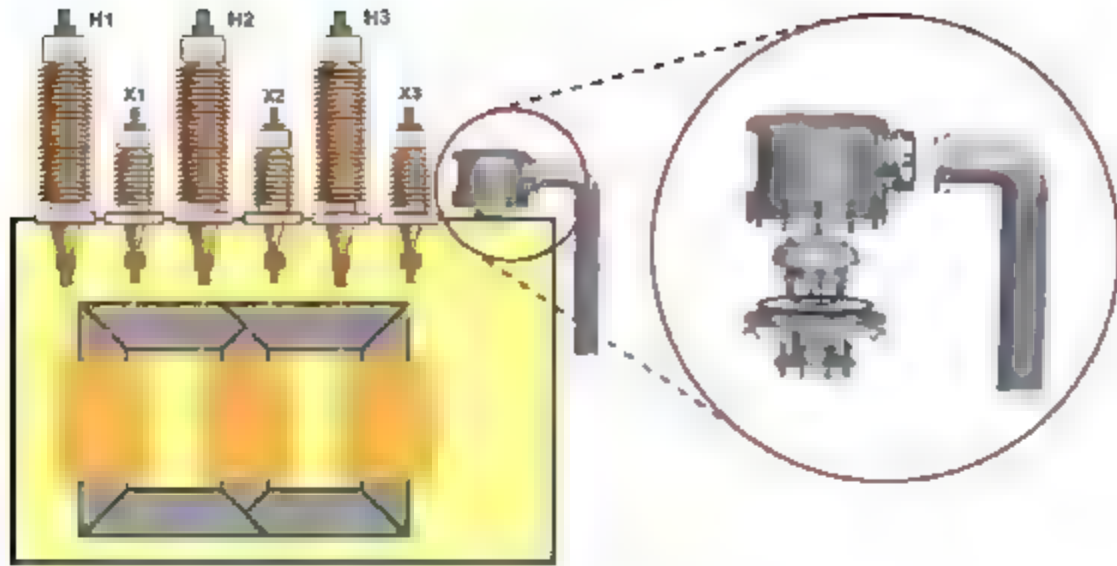
يتم تركيب هذا المؤشر على الأنابيب الرئيسية الأمامية بين المعادل الحراري وحرارة محول رئيسي كما هو مبين في الشكل (1-98)، وعند انخفاض مقدار الزيت المتدفق عن قيمته لمصنوعه مسبباً يتوقف بحدوث إشارة تحذيرية بوجود عطل (Fault Alarm) وفي بعض الحالات يتوقف أيضاً أمر فصل قسري للمحول (Trip) في حال استمرار الانخفاض في مقدار تدفق الزيت.



الشكل رقم (1-98)

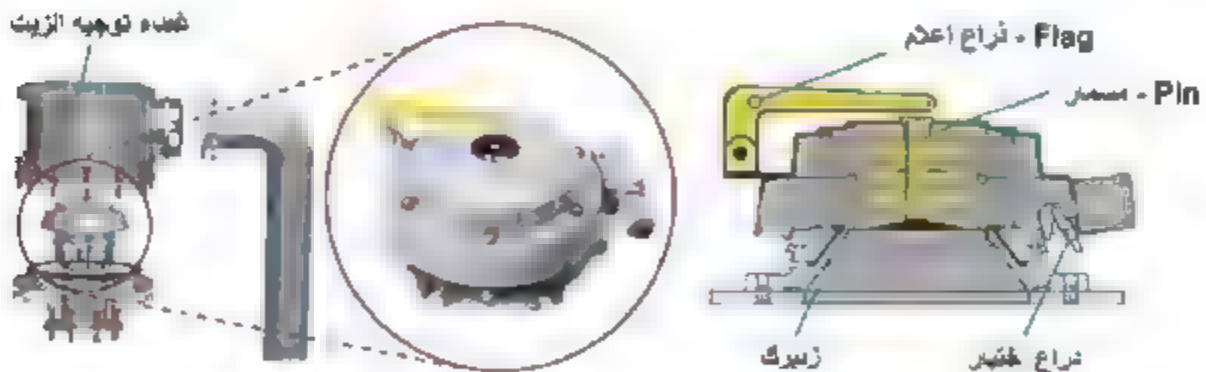
• صمام الحماية من ارتفاع الضغط بتحرير الزيت - Pressure Relief Valve or Device PRD

في حال حدوث عطل كبير (خفير) ونتيجة لارتفاع في الضغط بفعل ظاهرة القوس الكهربائي (Arc flash) وما ينتج عنها من غبار و زيت متحرق ولحماية حرارة المحول الرئيسي من الإنفجار أو الانفجار كان راماً أن يتم تركيب صمام يقوم بتحرير كمية من الزيت خارج حرارة المحول بهدف تقليل الضغط الداخلي للمحول وهو ما يسمى صمام الحماية من ارتفاع الضغط بتحرير الزيت (PRD)، حيث تقوم هذه الصمامات بحسب الضغط الداخلي للمحول وعند ارتفاعه عن قيمة معينة يعطى زيت على ضغط مرتفع الخاص بهذا الصمام مما يؤدي لفتح سمحة الزيت الخارج من المحول تخفيف الضغط الداخلي للحرارة بمرور مبداه (2ms) ملي ثانية و يعود نصاً فبصار أمر فصل قسري للمحول (Trip)، وبعد رول هذا الضغط يقوم الصمام بالإغلاق مرة أخرى.



الشكل رقم (1-99)

يتم تركيب هذه الصمامات على غشاء الحزام الرئيسي العلوي للمحول كما هو مبين في الشكل (1-99) أو على أعلى حجرة الزيت الخاصة بمغير الخطوات (Tap changer)، ويكون هذا الجهاز من زجاج يقوم بالضبط على غشاء معبئي على قوة أعلى الحزام وفي حال ارتفاع الضغط كما ذكر سابقاً يرفع هذا الغشاء ويحرر لكمية ملائمة من الزيت ومن ثم يعود لحالة الإغلاق بعد روال الضغط مع بقاء المسدس (Pin) المطهر في شكل (1-100) مشكاً، مُرتفع لأعلى الدلالة على تفعل هذه الحماية، وأحياناً يتم وضع ذراع إلام منون بالأصفر أو الأحمر وتليفته الدلالة على تفعل هذه الحماية حيث يبقى مرتفعاً بعد روال الضغط وفصل المحول.



الشكل رقم (1-100)

ملحوظة (1-15): تختلف قيمة الضغط التي يعمل عندها هذا الصمام باختلاف سعة وتصميم المحول، فبالرجوع إلى صمامات الحماية المصنعة من قبل شركة (MR) نجد أن الضغط الذي يتفعل عنده الصمام من (0.28bar - 2.07bar) بحسب نوع الصمام

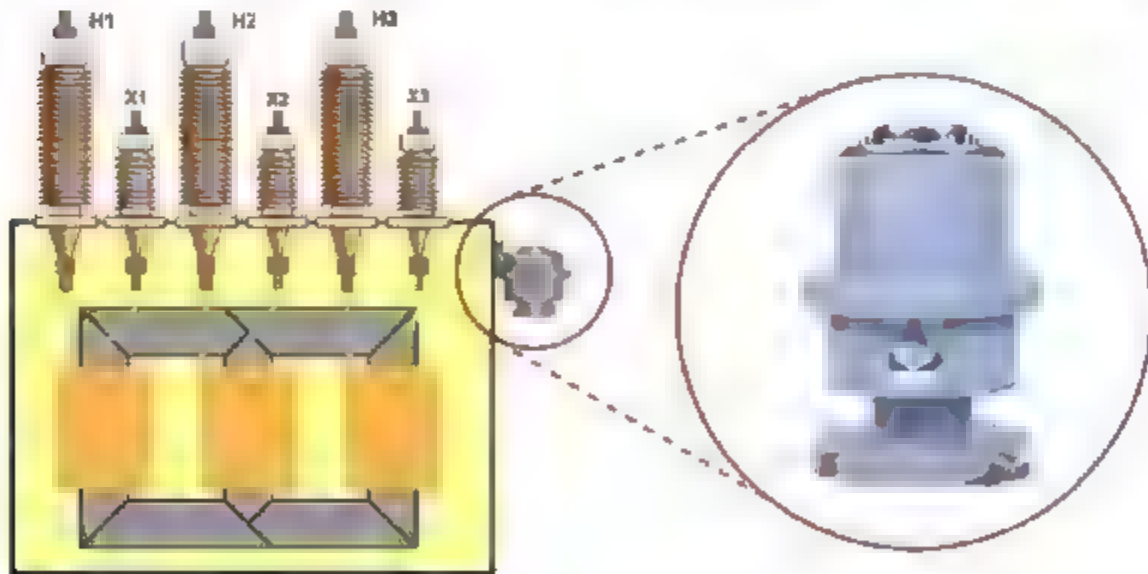




ملحوظة (1-16): عادة ما يدل لون المسمار (Pin) على نوع مائع لعزل داخل المحول، فبالرجوع إلى الكتيب التقني الخاص بصمام الحماية من الضغط (PRD) القصع من قبل شركة (QUALITROL) سيجدان اللون الأصفر يدل على الزيت المعدني و اللون الأحمر يدل على زيت الأسكاريل و اللون الأزرق يدل على الزيت السيليكوني.

• مُرحل الحماية من الإرتفاع المفاجئ للضغط – Rapid Pressure Rise Relay – RPRR

وتُسمى أيضاً بـ (Sudden Pressure Relay)، حيث يشترك هذا المرحل (RPRR) و صمام (PRD) سابق الذكر في نفس الوظيفة وهي حماية المحول من ارتفاع الضغط في حال حدوث قوس كهربائي داخلي (Internal Arc)، وكلاهما يفترون في أن صمام (PRD) ذو قيمة ضغط شعبي إستاتيكي ثابته وأيضاً زمن شعبي ثابت أي أنه يعمل في حال ارتفاع الضغط لدخول للمحول عن قيمة معينة محددة مسبقاً وأيضاً يقوم بتحرير الزيت خارج الخزان، أما فيما يخص مُرحل الحماية من الإرتفاع المفاجئ للضغط (RPRR) فإنه يعمل وفقاً لارتفاع الضغط الديناميكي كنتيجة لمعدل سرعة تغير الضغط داخل المحول ولا يقوم بتحرير الزيت خارج الخزان بل يكتفي بإصدار أمر فصل قسري للمحول (Trip)، أي أنه كلما كان ارتفاع الضغط داخل المحول أسرع كلما كان زمن الإستجابة أقل، وتُفصّل برقم الإستجابة الزمن اللازم لإصدار أمر لفصل القسري للمحول (Trip) كما هو مبين بالشكل (1-102) وسائلاً ما يتم تركيب هذا المرحل على أي حדר من الحدر الرئيسي الجانبية للمحول كما هو مبين بالشكل (1-101).



الشكل رقم (1-101)

لشركات إقراضات أطول الفجوة الهوائية وفقاً لنوع عازل الإخراق (Bushing) المُصنع من قبله، بالإضافة إلى مستوى أهوليه التشغيلية أعار، لإختراق (Bushing) كما هو مبين بالحدود (1-11) و الذي يصمم طول الفجوة الهوائية المقترح لعازل الإخراق (Bushing) المحولات من طراز (PNO) لمُصنع بواسطة (Passoni & Villa) أو (General Electric- GE) حالياً

الجدول رقم (1-11)

الطول الفجوة الهوائية، ملم	العولية الإسمية، كيلوفولت
320	52
450	72.5
600	100
750	123
900	145
1000	170
1450	245

• حارطة/مائعة الصواعق – Surge Arrester SA

تعد قزرون التمزيق (Arcing horns) سابعة الذكر أكثر أوسائل شيوغاً لتخصص من الفوتوتات المرتفعة ذات التردد المرتفع في الشبكة وذلك لسهولة تركيبها وسعرها منخفض، ولكن من أوجه قصورها أنها غير قادرة على منع البيرت السعة أو ما يُسمى بالـ (Follow-on currents) وهي التيارات التي تتبع حدوث بهير لفجوة الهوائية لقزرون التمزيق عند تعرضها للمولنيات العالية مما يؤدي حدوث قصر مؤقت، بالإضافة إلى بعض الأعطال الناتجة عن العمل الحائطي لقزرون التمزيق نتيجة التجمع لطبور عليها مثلاً

حقلّة كورونا
 حقلّات التبريد
 قرص
 لأكسيد الزنك
 ZrO
 دارة التفريغ
 جهاز التفريغ

عند تعرض الحارفة (SA) لهولنيات عالية ذات تردد مرتفع تنخفض قيمة معاوقتها لمرور التيار مما يؤدي إلى مرور التيار إلى الأرض وتفرغ الهولنيات العالية غير المرغوب بها، وبعد زوال هذه الهولنيات ترتفع قيمة المعاوقة الخاصة بهذه الحارفة (SA) لتمنع بدورها مرور التيار.

مع الأرس يتحوي على عداد يبين عدد مرات عمل الحارقه (SA Switch-On Counter) بالإضافة إلى مؤشر تيار، ألمبي أمبير (mA) يعطي إشباع من حالة الحارقه (SA) الداخلية كما هو مبين في الشكل (1-104)، وفي وضع لتشعيل الطبيعي الحارقه (SA) وعندما تكون موصولة بالعنبرية التشعيبية الطبيعية لابد من وجود تيار سري صغير بقسمة لا تتجاوز نصف مبي إشباع أن الحارقه (SA) لا تشكل دائرة مقبولة مئة بالمئة وفي حال تعضيها لغيرها من قسمة سوف تقوم بعملية على أكمل وجهه

الشكل رقم (1-104)

• حلقات الكورونا والتدرج – Corona and Grading Rings

تنشأ حلقات الكورونا وحلقات التدرج من حيث العمل والشكل، فكلاهما ذو شكل حثي من الألمنيوم و يهدف إلى تدرج أو تشتيت المجال الكهربائي الناتج عن الفولتيات العالية (أكثر من 230 كيوفوت) وذلك لمنع حدوث تفريغ كهربائي (Discharge)، ولكل منهما بقرنان في مكان التركيب حيث يتم تركيب حلقات الكورونا (Corona rings) أعلى عزل الإختراق (Bushing) أو حاربه/مانعه الصواعق (Surge Arrester - SA) حول نقطة توصيل الفولتية المرتفعة (HV Conductor termination point) وذلك لتخفيف هذه المشكلة من خوف >١٥ من شأنها زيادة المجال الكهربائي في هذه المنطقة مما يزيد حجم حدوث تفريغ كهربائي وكذلك عمل تداحل على موجات الراديو، حيث تُقارر قيمة المقاومة للتدويرية - التي يحصل بعدها تفريغ كهربائي بحوالي (30 kV/cm) كيوفوت/سم

أما فيما يخص حلقات التدرج فإن لها نفس الوظيفة سابقة الذكر ولكن يتم تركيبها حول أعلى العزل الخاص بمحورل إخراج الفولتية المرتفعة (HV Bushings) وحاربه/مانعة الصواعق (Sarge Arrester) وذلك لتوزيع المجال الكهربائي حل كامل لعزل الخارجي الخاص به، ومنعه من التركيز في مكان معين خاصة الجزء العلوي من العزل والأقرب لموصل الموترية المرتفعة - مما يؤدي لإنهياره كما يظهر في الشكل (1-104)

الملحق (1-1)

تسمية أطراف المحول وفقاً للمعايير المختلفة

لا بُد من الإحاطة بتسميات الخمسة لأطراف المحولات وفق المعايير العالمية وذلك لزيادة الفهم عند ذكرها في فادام المصنوع.

Australian standards : المعايير الأسترالية
ANSI : المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية
IEC : اللجنة الكهروتقنية الدولية

المعيار	أطراف ملفات الفولتية المرتفعة	أطراف ملفات الفولتية المنخفضة	أطراف الملفات الثالثة
	HV winding	LV winding	Tertiary winding
ANSI	H1 - H2 - H3 - H0	X1 - X2 - X3 - X0	Y1 - Y2 - Y3 - Y0
IEC	1U - 1V - 1W - 1N أو U - V - W - N	2U - 2V - 2W - 2N أو u - v - w - n	3U - 3V - 3W - 3N
Australian standards	A1 - A2 - A3 - N	a1 - b2 - c3 - n	3A - 3B - 3C - 3N

الملحق (1-2)

مصادر الأشكال الواردة في الفصل الأول

المصدر	الأشكال					
Turbosquid.com by ArtGraphic3d Studio	1-33	1-32*	1-31*	1-28	1-27	1-19
	1-77	1-69	1-68	1-67	1-50	1-49
AREVA Power Transformers Expertise Vol 1 & 2	1-30	1-29	1-26	1-21	1-20	
Electrical4u.com	1-25			1-24*		

* جزء من الشكل

الفصل الثاني

فحص مقاومة العزل

Insulation Resistance Test (IR)



فحص مقاومة العزل

Insulation Resistance Test

تُعتبر فحص مقاومة العزل أو كما تُسمى **(Megger test)** من أقدم الوسائل لتأكيد من جودة وكفاءة العزل حيث تم إدرجه كأحد فحوصات الزحج إجرائها على التظلمات الكهربائية في نهايات العزل لتسبع عشر (1880's) في الإصدار الأول لنشرة الأنظمة الصادرة عن معهد مهندسي الكهرباء (IEEE). حيث تدور فلسفة هذا الفحص بقياس مقاومة المادة العازلة لتسرب التيار من خلالها، هذه المقاومة التي تُعطي تصوّر عن حالة المادة العازلة وتُعتبر عن جودتها فكما هو معلوم ومع مرور الوقت يختلف خصائص المادة العازلة وعلا ما يكون هذا الاختلاف للأسوء نتيجة لتساقط هذه المادة لعازلة، ومنه فإن وطبيعة هذا الفحص هو إعطاء إصباح عن حالة المادة العازلة بشكل روتيني أو بعد تعرضها لظروف حادة قاسية كارتفاع الحرارة والرطوبة والأوساخ، أو نتيجة لتعرضها لإجهاد كهربائي كالمواسات المرتفعة أو إجهاد ميكانيكي كالصدمات أو الاهتزازات أدى لحدوث أضرار فيزيائية لهذه المادة العازلة كاشقوق أو غيرها من لأضرار الفيزيائية التي تؤدي لضعفها وزيادة قيمة التسرب من خلالها، ونظراً لأن سدادا فورية لفحص أقل من أو مساوي المقيار القبولية يُسمى لخصه بالمحول، فإن هذا الفحص يُعتبر من لفحوصات غير التدميرية **(Non-destructive test)** أي أنه لا يؤثر على سلامة العزل

وتتلخص سلامة أي محول في سلامة ثلاثة أنظمة د خلية المحول وهي نظام العزل والبطون الميكانيكي والمواد الحزري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل المحول بالكامل، وهذا لفحص يُمكن من الكشف عن سلامة نظام العزل وذلك بالكشف عن حالة المادة العازلة للمفص **(Windings)** و القلب الحديدي **(Iron Core)** وكذلك دعثه التشهير الخاصة بالسداد الحديدي **(Core Clamp)**

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفع لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني لتأكد من سلامة المحول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحول (وهو محل بحثنا في هذا الكتاب) أو لأسباب خاصة أخرى، وتتلخص هذه الأسباب بالآتي

1.1 في المصنع لصنع الوحدة المصنعية **(QC - Quality Control)** وكذلك تُعتبر من فحوصات لشؤون المصنعية **(FAT - Factory Acceptance Test)** لتأكد من سلامة المحول ومطابقته لتصميم قبل نقله للموقع

1.2 في الموقع قبل كهره المحول للمرة الأولى **(Transformer first energization)** كأحد فحوصات لشؤون الموقعية **(SAT - Site Acceptance Test)** لتأكد من سلامة المحول بعد نقله وتركيبه في الموقع

1.3 قبل كهره المحول **(Transformer energization)** بعد عمليات الصيانة المختلفة في الموقع

1.4 قبل كهره المحول **(Transformer energization)** بعد توقفه لفترة طويلة من الزمن

- 1.5 بشكل روتيني (Routine test) وذلك لكشف عن وضع المحول الحالي واستخدام سيرة هذا الفحص كمرجع (Reference value)
- 1.6 بحسب الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل.

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

كما هو معلوم أن هذا الفحص يهدف لكشف عن جودة وكفاءة المادة العازلة في المحول لذلك عادة ما يتم التجويع لعمل هذا الفحص بهدف تشخيصي في حال تعرض المحول لظروف أو أحداث قد تؤدي لزيادة الإجهاد الميكانيكي، وقوع على المادة العازلة داخله وما يرتب عليه من أعطال ميكانيكية أو كهربائية للمحول، وعلى سبيل مثال لا الحصر يمكن إيجاد الأمور التالية

- في حال ظهور إشارة تحذير (Alarm) و حدوث قصير للمحول (Trip) سيرة الفحص مُرحل البوخلتر (Buchholz relay)
- حيث ظهور نتائج غير مُرضية لفحص الغازات الذائبة في الزيت، (Dissolved Gas Analysis - DGA) وحسبة عند ظهور غازات حمراء المعدن (Hot metal gases) الناتجة عن حصد الحديد المتكسب للقلب الحديدية للمحول أو دعائم التثبيت الخاصة بالنقشب الحديدية والتي تتحلل في الغازات الذائبة (الميثان - CH_4 و الإيثان - C_2H_6 و الإيثيلين - C_2H_4)
- في حال ارتفاع درجة حرارة المحول، لأي مما يكون، تبع عن القلب الحديدية أو دعائمه نتيجة لوجود مشكلة في نظام العزل الخاص بهما.
- تعرض المحول لإجهاد ميكانيكي (Mechanical stress) كالإهتزاز، أو انقل أو الصدمات
- تعرض المحول لإجهاد حراري (Thermal stress) كارتفاع لحرارة الشديد أو انخفاضها
- تعرض المحول لإجهاد كهربائي (Electrical stress) كالتغويات المتكررة و أموجات لعائمه.
- تعرض المحول لإجهاد كيميائي (Chemical attack) كالأوساخ والبرق أو أبخرة مواد لآكلة (Corrosive vapor)
- ظروف محيطه بالمحول (Environment) كالحرارة و رطوبته المرتفعة

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص بظهور أو بهتان المادة عازلة داخل المحول نتيجة لتسرب الرطوبة داخل هذه المادة لعائله أو وجود تضرار فيزيائية حقت بها كالتشققات أو الثقوب أو وجود فجوات هوائية.

3. فلسفة الفحص

تُكثَّر وظيفة وحدة العزلة الخاصة بالمحولات في انقاء التيار الكهربائي داخل موصلاته أو ما يُسمى بالمسبب، وتسرب هذه التيار الكهربائي إلى خارج الملفات يجعله من غير الحثيد بن واحطير في بعض الأحيان، ذلك يُمكن الإستفاح من أن خصائص هذه المادة العزلة على تسيص من خصائص المادة لموصله المُكوِّنه لصنعات كالتحاس أو الألمنيوم، فالأخيرة من أهم خصائصها مقاومة لعليله لمرور لتيار أما المادة العازلة فمن أهم خصائصها المقاومة المرشعة لمرور التيار مما يحول دون مرور التيار من خلالها، وحين مروره مقصراً على موصلاته فقط، أي: أحاطت به المحول، لذلك فإن مبدأ هذا الفحص يدور حول قياس مقدومة المادة العازلة للتأكد من سلامتها ونها فادره على المقدم بوظيفتها احباطة بها

تُستخدم لقياس مقاومة العزل جهاز يُسمى بمعزل أو ميغا أوميتر (Megohmmeter أو Megger)، واسمي بهذا الاسم لأنه عادةً ما يكون قيمة المقاومة المقاسة في هذا الفحص باميجا أوم (Mega Ohm) ويحتوي هذا الجهاز على مولد تيار ثابت (Direct Current Generator) حيث يقوم هذا الجهاز بتطبيق فولتية ثابتة (DC Voltage) على الخرج المُزد قيس مقاومة عزله كالمسبب أو لست لحدته، أو دخله مثبت العمل، الحديدي والذي بدوره يؤدي إلى مرور تيار تسري في من خلال هذا العزل، ومنه يتم احتساب قيمة المقاومة وفقاً لقانون أوم (Ohm's Law) ونُمكن أن يكون هذا الجهاز يدوي (Hand-driven) كالنسخ القديمة منه أو ذو محرك كهربائي (Motor-driven) أو إلكتروني (Electronic)

كما ذكر سابقاً أن المادة العزلة ذات مقاومة مرتفعة وقيمة التيار المُتسرب من خلالها مسارٍ للصفر نظرياً وهذا ما يُسمى بالعزل المثالي، ثم في الواقع فإنه عند تطبيق فولتية ثابتة (DC voltage) على العزل، تنشأ تيار تسربية داخل وعلى سطح هذا العزل والتي من خلالها يتم احتساب قيمة مقدومة هذا العزل وتكون هذه لتيارات من المُركبات التالية

✓ تيار الشحن الشعوي Capacitive Charging Current

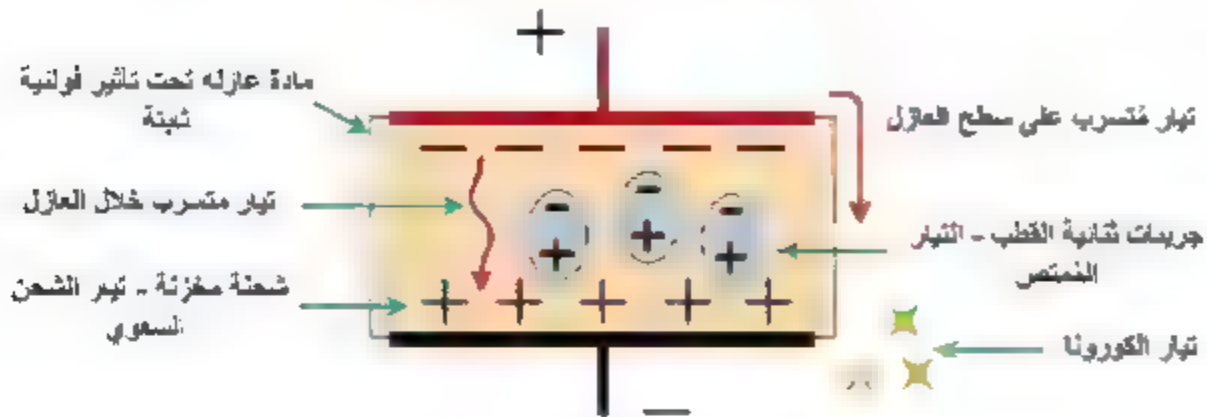
✓ تيار الامتصاص من العزل Dielectric Absorption Current

✓ تيار المُتسرب أو الخوص Conduction or Leakage Current

✓ تيار التفريغ الجزئي (ظاهرة كورون) Partial Discharge Current (Corona)

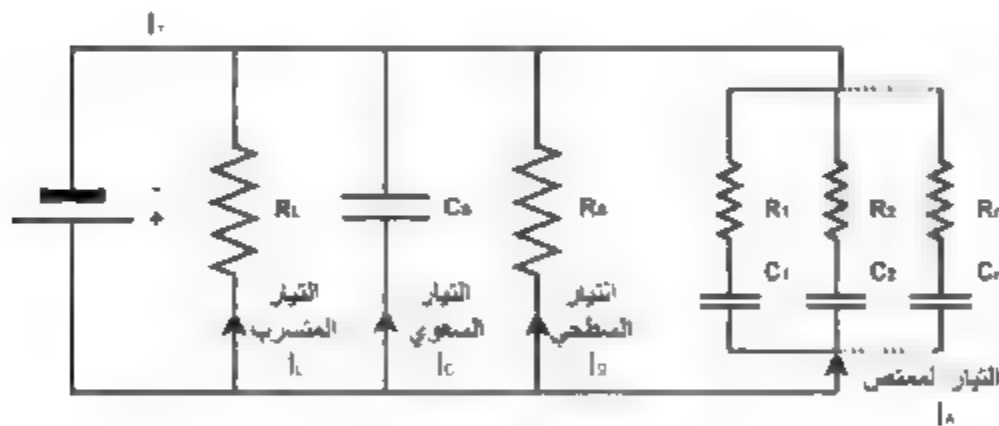
✓ تيار التسرب السطحي Surface Leakage Current

الشكل (2-1) يوضح مُركبات التيار المُكَوَّنة سِجَة لتطبيق فولتية ثابتة (DC Voltage) على المادة العازلة.



الشكل رقم (2-1)

كما ويُمكن رسم الدائرة مُكَافئة للمادة العازلة وهي تحت تأثير بوسية السحس المابتة كما هو مُبين في الشكل (2-2) والذي يوضح مُركبات التيار: 'مُتسرب' عبر المادة العازلة وعلى سطحها - [IEEE Std 43-2013]



الشكل رقم (2-2)

• المُركبة الأولى: تيار الشحن السعوي - Capacitive Charging Current I_C

و هو تيار يبدأ بقيمته مربعة ثم ينحصر إلى أدنى قيمة له - قراءته يصغر - بعد شحن مواسعه المادة عازلة إلى اعواسة اكامة (Full voltage)، وعادةً يحتاج هذا العازل إلى عشارب الثواني لكي يقل إلى أدنى مستوى ه حيث يُمكن إهماله مقارنة بتيارات الأخرى كما ونعتمد هذا التيار على مقدار فولتية الفحص وكذلك حجم ونوع المحول المُراد فحصه

ولحساب قيمة هذا التيار السعوي يُمكن تطبيق المعادلة (2.1) التالية.

$$I_C = \left(\frac{E}{R} \right) e^{-t/RC} \quad (2.1)$$

حيث:

I_C	تيار الشحن السحوي
E	: فولتية الفحص بالكيلوفولت (KV)
R	: المقاومة بالميجا أوم (MO)
C	: المواسعة بالميكروفاراد (μF)
t	: الزمن بالثواني (s)

• الخرجية الثانية: التيار المُمتص من العازل - Dielectric Absorption Current I_A

و هو تيار يُمثل لطدفة الإحصافية اللازمة لإعادة توجيّه - ترتيب - ترتيبات المادة العازلة نتيجة لتأثير المجال الكهربائي المُطبّق عليها أثناء فحص مقاومة العزل، ويكون تياراً بالديّة مرتفع ثم ينخفض إلى أدنى قيمة له - قرابة صفر - بعد توجيّه أغلب ترتيبات هذه المادة العازلة، وعادةً ما يحدث هذا تيار من عدة ثواني إلى عدة دقائق للمحولات، لكي نصل إلى أدنى مستوى له حيث يمكن إهماله مقارنة بالتغيرات الأخرى وتحتل الإشارة إلى أن النقص في قيمة هذا التيار سبب عكساً مع مقدار المواسعة التي تُشكلها العزل وكذلك يعتمد هذا التيار على نوع المادة العازلة ووضع المادة العازلة (Insulation Condition) من مستوى ملوثات أو رطوبة بداخلها.

واحسار قيمة هذا تيار مُمتص يمكن تطبيق المعادلة (22) التالية

$$I_A = ECDT^{-n} \quad (22)$$

حيث:

I_A	: التيار المُمتص.
E	: فولتية الفحص بالكيلوفولت (KV)
C	: المواسعة بالميكروفاراد (μF)
D, n	: ثوابت.

ومما سبق من تعريف تيار الشحن السحوي (I_C) و تيار المُمتص (I_A) من العازل ونسبته لقيمتيهما لإنديّة المرتفعة، ووفقاً لقانون أوم (Ohm's Law) يُمكن ملاحظة سبب رئيسي وراء انخفاض قيمة مقاومة العزل (Insulation Resistance) في الثواني الأولى لهذا الفحص، والتي بدورها تحسّن قيمة هذه المقاومة في ندبة الفحص مُهملة ولا يعكس الحالة الواقعية للمادة العازلة بل ويجب الإنتظار حتى تلاشي هذه التدرج (I_A و I_C) وترتفع قيمة مقاومة العزل ومن ثم نقوم بتسجيلها يكون ذلك قائده

• المُرَكَّبَةُ الثالثة: التيار المُتسرب أو المُوصل I_L - Conduction or Leakage Current

وهو يُمثل التيار المُتسرب بعد إنخفاض قيمة التيارين (I_A و I_C) استثنى حيث أنه التيار المُتسرب أو المُوصل من خلال المادة العازلة وهو التيار المطلوب لحساب قيمته سدوسه اعزل كما هو مبين بالشكل (2-3)، حيث تبدأ قيمة هذا التيار من الصفر وتصل عند إلى حد معين ثم تبقى ثابتة إلى انتهاء الفحص

ولكن يبقى التساؤل اعصروح "كيف يُعطينا التيار التسري خلال المادة العازلة بقطاع عن حالة هذه المادة العازلة الداخلية ومدى كفاءتها؟".

كما هو معلوم أن المادة العازلة تمتلك خاصية بمصاص الشحبات الكهربائي وتوصيلها شكل دائم أو مؤقت، لذلك عند تطبيق فولتية ثابته (DC Voltage) على هذا المادة فإن حريثات هذه المادة الحاملة لشحبات موجبة والسالبة متأثر، والحقيقة المُطبعة، وكما أن على حريثات المادة العازلة هناك ما يُسمى بحريثات ثنائية القطب (Dipoles) وسميت كذلك لحملها شحنة موجبة صغيرة على أحد أطرافها وعلى الطرف الآخر شحنة صغيرة سالبة، وعند تعرض هذه الحريثات ثنائية القطب (Dipoles) للعوايه اثثة وما ينتج عنها من مجال كهربائي تقوم هذه الحريثات بالإسقاط باتجاه المجال الكهربائي مُعْتَصِقٌ أو ما يُسمى بإسقاط الحريثات ثنائية القطب (Dipoles polarization) حيث أن لذلك دلالة عملية الإستخدام يُمكن تمثيلها بالتيار المُمتص (Absorption current)

ولكن هناك حريثات تحمل شحنة داخل المادة العازلة ولكنها حرة أن ليست كحريثات ثنائية القطب سابقة الذكر وهذا ما ينتج حركتها بين الأقطاب الموجبة والسالبة العوايه المُطبقة على المادة العازلة والتي يُمكن تمثيلها بالتيار التسري خلال العازل (Leakage current)، وهذا بدوره يُفسر علاقة بين قيمة التيار التسري وحالة المادة العازلة للمحول.

• المُرَكَّبَةُ الرابعة: تيار التفريغ الجزئي (تيار الكورونا) I_P - Partial Discharge Current

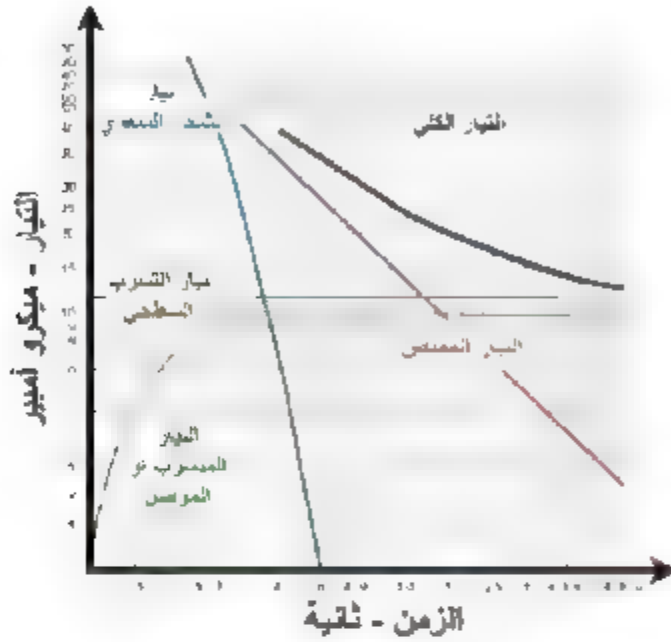
أو كما يُسمى تيار الكورونا وهو نتيجة الإلهاء الكهربائي التي يتعرض له الهواء المحيط بالمسطحة المشحونة بالعوايه المرتفعة خاصية تلك الحواف المُوصلة الحادة، وعادة ما يظهر هذا التيار عند لفولتيات مرتفعة لاكر من (4kV) كما ويُمكن إهماله عند جزء هذا الفحص بعدات لتبسيط

• المُرَكَّبَةُ الخامسة: تيار التسرب السطحي I_S - Surface leakage Current

وهو تيار المار على سطح العازل الخارجي، أي التيار المار بالمقدمة الموجودة على العازل مع مقاومة العازل كما هو مبين بالشكل (2-2)، وهذا التيار يعتمد على نظافة ورطوبة سطح العازل ويكون ذو قيمة ثابتة مع مرور الزمن

يُمكن لمطوِّب أو قطرات المني المُتكوِّنة على سطح العازل أن تزيد من تيار التسرب سطحي للعدل، وعدة ما يتم ملاحظة هذه الظاهرة عند إجراء هذا الفحص في ساعات الصباح الباكر في الأحوال الباردة، حيث أن قصور المني المُتكوِّنة على سطح المادة العازلة (البورسلان) مثلاً من شأنه زيادة تيار التسرب السطحي والتي بدوره يؤثر على دقة هذا الفحص، لذلك وللتخلص من هذه الخرجة يجب تنظيف

سطح العازل جيداً قبل إجراء الفحص كتطهير العزل الخارجي - البورسلان عادةً - عند فحص المحولات، وكذلك إجراء الفحص في درجة حرارة جو محيطية مناسبة مع أخذ رطوبة الجو بعين الاعتبار، بالإضافة إلى إمكانية استخدام هنتدال (Guard) في أجهزة فحص مقاومه العدل ليقوم بتحمس هذا التيار وطرحه من القيمة الكلية للتيار المُقاس ليتم الحصول على قيمة مقاومة عازل أكثر دقة كما سيتم شرحه لاحقاً.



الشكل رقم (2-3)

وقبل الخوض في تفاصيل الفحص لا بُد من الإجابة عن سؤال في غاية الأهمية وهو لماذا يتم هذا فحص سطحي فولتية ثابتة (DC Voltage) عوضاً عن فولتية مترددة (AC Voltage) المُتعارف عليها والتي يعمل عليها المحول في ظروف التشغيل العادية؟ وهل يُمكن الكشف عن حالة المادة العازلة من خلال تطبيق فولتية مترددة (AC Voltage)؟

كجابة سريعة عن السؤال الثاني لنسأل: يُمكن القول "نعم" يُمكن للفولتية المترددة (AC Voltage) الكشف عن حالة العزل في بعض المواقف كما هو الحال في فحص الفولتية المربعة (Hi-pot test) وفحص معمل المني أو القدرة (DF/PF)، أما فيما يخص التيقن لأول من التساؤل تم عمل فقرة بين لفولتية (AC & DC) وإدراجها في الجدول (2-1) مما يُبيح فهم أكثر لهذا الفحص

ملحوظة (2-1): يُمكن التعبير عن قيمة هذا الفحص بالاسار التسري من خلال العدل (mA or μ A) أو مقاومه هذا العازل (k Ω , M Ω , G Ω or T Ω)، حيث أن بعض الأعطال يُسهل الكشف عنها بمراقبه تيار التسري عوضاً عن المقاومه إلا أن قيمة المقاومه هي الأكثر إشاراً للتعبير عن هذا الفحص. ونحذّر الإشارة إلى أن أجهزة الفحص لمختلفة والمُصنعة بواسطة كبرى الشركات مثل (MEGGER & METREL) وغيرها من الشركات تتيح خيار فيما إذا أردت أن تكون نتيجة الفحص على شكل تيار متسرب أو مقاومة عز.



الجدول رقم (1-2)

وجه المقارنة	الفحص باستخدام فولتية مترددية AC voltage	الفحص باستخدام فولتية ثابتة DC Voltage
التيارات الناتجة عن المحصر	تيار شعوي كبير تيار تسرب مادي وقياس مُعتص قليل	تيار شعوي قليل تيار تسرب مادي ومُعتص كبير وهو المطلوب لقياس مقاومة العزل
الغاية من الفحص	معرفة مدى تحمل المادة العازلة للفولتيات المرتفعة (تُعطي دلالة على مدى جودة العزل دون قيمة مُقاسة)	معرفة قيمة مقاومة المادة العازلة (يُعطي قيمة مُقاسة تُعبر عن مدى جودة العزل)
خطورة الفحص على العازل	خطير (تدميري) نتيجة لتطبيق فولتات مرتفعة	غير خطير (غير تدميري)
إمكانية تعويض الفولتيتين	لا يُمكن تعويض فحص العازلية لثابتة	يُمكنه تعويض فحص العازلية استناداً وذلك بـ ٥٠ قيمة العازلية ثابتة المُطبقة حيث يُعطي نفس النتيجة
التكلفة والوزن والحجم لجهاز الفحص	كبير	قليل

4. أمور لا بُد من مراعاتها قبل البدء بالفحص

4.1 استقرار درجة حرارة المحول

كما هو معلوم أن قيمة المقاومة من القيم التي تتأثر بالحرارة بشكل كبير، لذلك وللحصول على قيمة مقاومة غير حتمية واحد من تأثير الحرارة على قيمة هذه المقاومة يجب التأكد من استقرار درجة حراره رتب وملفات محول قبل اقف الفحص، نصاً يجب تجنب القيام بالفحص في درجة حراره جو اقل من درجه حرارة تكوّن قطرات الندى (Dewpoint temperature)

وهو هذا ما يعني مسؤولاً مخطووح "كيف يُمكن التأكد من أن المحول وصل إلى مرحله استقرار الحرارة قبل البدء بالفحص؟"

كُثر الأراء والشواهد التي تؤكد أن المحول مُستقر حرارياً قبل الرجوع إلى أشهر معايير اعامية (Standards) دُمكن القول أن المحول مُستقر حرارياً فيه، إذا تحققمت وحدة من اشرودات اتمامة

- عندما يكون مؤشر التعتير في درجة حرارة الزيت العلوي (Top Oil Temperature) أقل من درجتين مئويتين لكل ساعة من الزمن حسب معايير (Standards) معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]
- مرور فترة ثلاث ساعات على عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization)، وذلك للمحاولات التي لا تحتوي على مصبحة زيت أي ذات نظام التبريد الذي يعتمد على الدوران الطبيعي للزيت (Oil Natural - ON)، حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]
- مرور فترة اسباعة على عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization)، وذلك للمحولات التي تحتوي على مصبحة زيت أي ذات نظام التبريد الذي يعتمد على الدوران القسري للزيت (Oil Forced - OF)، مع مراعاة إيقاف المصبحة بالعمل بعد عزل المحول كهربائياً في وقت بداية الفحص حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]
- عندما يكون متوسط درجة حرارة الزيت العلوي (Top Oil Temperature) و السفلي (Bottom Oil Temperature) مساوياً بشكل تقريبي لدرجة حرارة الملفات (Winding Temperature) حسب معايير اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC 60076-1 2011]
- عندما يكون الفرق في درجة الحرارة بين زيت المحول العلوي (Top Oil Temperature) و السفلي (Bottom Oil Temperature) لا يزيد عن (5°) درجات مئوية حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]

4.2 تسجيل درجة الحرارة

يجب تسجيل درجة حرارة الجو المحيط (Ambient Temperature) وكذلك درجة حرارة الملفات (Winding Temperature) في الداء بالفحص وذلك بأخذ قيمة درجة حرارة الملف عبر مؤشر درجة الحرارة الخاص بالمعدات (Winding Temperature Gauge) و المثبت على جانب المحول في لوحة التحكم الخاصة بالمحول، وفي حال تعذر أخذها فإنه يتم اعتماد متوسط درجة حرارة زيت المحول عبر مؤشرات درجة حرارة الزيت ككل أو العلوي و السفلي إن وجدت (Top/Bottom Oil Temperature Gauges)

4.3 فصل متحسسات الحرارة من النوع (P100) إن وجدت

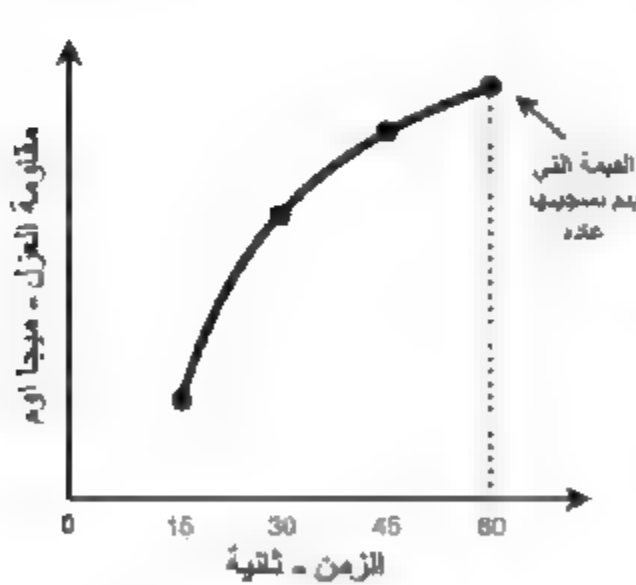
في حال استخدام متحسس حرارة من النوع (PT100)، فإنه يُفضل فصل أطراف هذه لمتحسسات وعمل دائرة قصر لهذه الأطراف (Short circuit) وس ثم وصلها بالأرضي وذلك للحفاظ عليها من أية أضرار قد تلحق بها بسبب هذا الفحص.

5. أساليب الفحص

توجد عدة أساليب يمكن استخدامها عند القيام في هذا الفحص ومنها ما يكفي تطبيق قولية الفحص ومن قصير وقصر مقاومة العزل كاستيوب قراءات الرسم القصير أو كما يُسمى (Spot Test)، ومنها ما يقوم بإيجاد العلاقة بين مقاومة العزل والرسم مثل مؤشر الامتصاص (Absorption Index - AI) و مؤشر الاستقطاب (Polarization Index - PI)، ومنها ما يقوم بإيجاد العلاقة بين مقاومة العزل والعولتيه من أسلوب التدرج بالعولسيه (Step-voltage Test - SV) و (Ramp-voltage Test)، ومنها ما يقوم بتلصق سلك عادة لعازله بعد دوا العولتيه المُطعمه عليها مثل أسلوب بربع العزل (Dielectric Discharge - DD) ويتم فحص أسلوب الفحص المناسب وفقاً صيغة الشدة المُراد فحصها وطبيعة الفحص فيها، كما روتسي أو شخصي بها ف الكشف لأعطال، بالإضافة إلى نوع الفحص المتوقع. و نلخص هذه الأساليب بالآتي.

5.1 الأسلوب الأول: قراءات الزمن القصير - Short Time Readings

أو ما يُسمى بالـ (Spot Test)، حيث يُعتبر الفحص بهذا الأسلوب الأسهل والأبسط وتعتمد على قياس قيمة مقاومة العزل عادةً فميرة من الرسم عادةً من (30s - 60s) ثانية فقط، حيث يتم شراشه منحني لقيم المقاسة مع الزمن وتسجيل قيمة مقاومتها العزل عند (60s) ثانية مع مرعاة تسجيل قيمة درجة الحرارة، كما ويُصبح تسجيل قيمة المقاومة عند (15s, 30s, 45s & 60s) وذلك لرسم منحني يُعبر المقاومة مع الزمن وملاحظة ارتفاع قيمة هذه المقاومة مع الزمن، كما هو مبين في الشكل (2-4)



الشكل رقم (2-4)

وهذا الأسلوب يُعطى حالة لعزل بشكل تقديري وغير دقيق وذلك لكثرة العوامل التي تؤثر عليه مثل درجة الحرارة - علاقة عكسية - والرطوبة ومقدار قولية الفحص وكذلك حجم المحول، لكنه من ناحية أخرى مُفيد كمؤشر على سلامة العازل خاصة بعد مقارنة القيم المقاسة الحالية بالقيم السابقة أو المقرجية مع مراعاة تصحيح القيم المقاسة إلى درجة حرارة (20°) درجة مئوية وكذلك أحد رُصوة الجو النسبية بعين الاعتبار.

في حال إجراء الفحص بهذا الأسلوب وتم الحصول على قيمة مُتدنية بعد تصحيحها

ومقرنتها بقيم سابقة فإن هذا يعني وجود رطوبة وشوائب بالمادة لعزله أما في حال ملاحظته مدى شديد بقيمة المقاومة فقد يعني فشل لعازل كإضلاع أولي، لذلك ولأن المحولات من المُعدات ذات الأهمية القصوى لا يجب الإعتماد على أسلوب الـ (Spot Test) فقط بل يُصبح بإجراء الفحص بأسلوب

مؤشر الإستقطاب (PI) (Polarization Index - PI) للتأكد من سلامة العزل، وفي حال الحصول على قيمة مؤشر استقطاب (PI) مُنخفضة، يُصبح بعض فحوصات أخرى سيتم لها بث عنها في نهاية هذا الفصل

5.2 الأسلوب الثاني: قراءات المقاومة المُرتبطة بالزمن - Time-Resistance : Readings DAR or AI

كما هو معيّن بأن مقاومة العزل العبد تكون يارتفاع مُستمر على مدى فترة الفحص، أي بمعنى آخر لو قُمتا برسم قيمة المقاومة مع مرور زمن الفحص سيُنتج منحني ذو قيم مقاومة ترتفع مع الزمن كما هو مُبين بالشكل (2-5) وهذا يُدل على عزل جيد. أما إذا كان المنحني مُسطحاً ثبت مع الزمن فذلك يُدل على عزل غير جيد نتيجة لسيار المُعحص من العازل (I_{60s} Absorption current) والذي يُكون ذو قيمة مرتفعة في نهاية الفحص ثم ينخفض إلى أدنى قيمة له للعزل الجيد. أما للعزل الرديء فإنه يبقى ذو قيمة مرتفعة طوال فترة الفحص وهذا بدوره يُفسر عدم ارتفاع قيمة لمقاومته مع الزمن للعزل الرديء.

لذلك في هذا الأسلوب يتم قسمة قراءة مقاومة العزل عند الثانية (60s) من زمن الفحص على قراءة مقاومة العزل عند الثانية (30s) من زمن الفحص أو بقسمة قراءة التيار المُتسرب عند الثانية (30s) من زمن الفحص على قراءة التيار المُتسرب عند الثانية (60s) من زمن الفحص يُعطى ما يُسمى بمؤشر الامتصاص (AI - Absorption Index) أو كما يُسمى بالـ (DAR - Dielectric Absorption Ratio)، والذي بدوره يُعطي إشارة على نصبة قيمة مقاومة لعازل مع الزمن كما هو مُبين بالعدد (2.3) حسب المرجع [Paul Gill, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing]

$$DAR \text{ or } AI = \frac{R_{60s}}{R_{30s}} = \frac{I_{30s}}{I_{60s}} \quad (2.3)$$

حيث:

مؤشر الامتصاص	DAR or AI	Dielectric Absorption Ratio or Absorption Index
R_{60s}	: قيمة مقاومة العزل عند الدقيقة الأولى من الفحص (MQ)	
R_{30s}	: قيمة مقاومة العزل عند الثانية (30s) من الفحص (MQ)	
I_{30s}	قيمة التيار المُتسرب من خلال العزل عند الثانية (30s) من الفحص (μA)	
I_{60s}	قيمة التيار المُتسرب من خلال العزل عند الدقيقة الأولى من الفحص (μA)	

وتُجدر الإشارة إلى أن بعض المراجع التي نعتمد على المعايير الصينية (Chinese standards) أوردت بعض المعدّلة لحساب مؤشر الامتصاص (DAR / AI) سابقة الذكر ولكن بشعّة قراءة مقاومة العزل عند الثانية (60s) من زمن الفحص على قراءة مقاومة العزل عند الثانية (15s) من زمن الفحص عوضاً عن الثانية (30s) من زمن الفحص وكلاهما يوفي بالعرض.

5.3 الأسلوب الثالث: قراءات المقاومة المُرتبطة بالزمن - Time-Resistance

: Readings PI

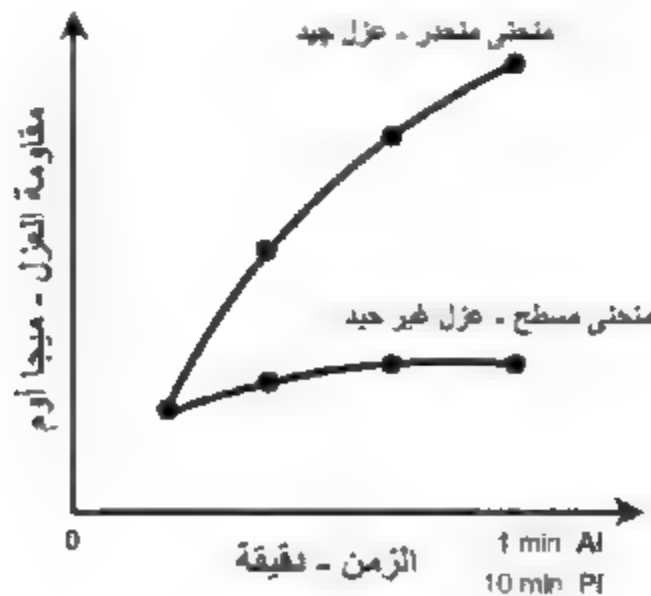
يهدف هذا الأسلوب بشكل رئيسي إلى الكشف عن وجود رطوبة في العازل العازلة، حيث أن هذا الأسلوب (PI) و الأسلوب لسانق (AI) متطابقان في المبدأ إلا أنهما يختلفان في مدة الفحص، حيث أن هذا الأسلوب يكون مدته (10 min) دقائق ويتم بحساب قيمته مؤثر الإستقطاب (Polarization Index - PI) وذلك بقسمة قراءة مقاومة العازل عند الدقيقة (10 min) من زمن الفحص على قراءته مقاومة العازل عند الدقيقة الأولى (1 min) من زمن الفحص حسب المعادلة (24) الواردة في معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013] أو بقسمة قراءة التيار المُتسرب عند الدقيقة الأولى من زمن الفحص (1 min) على قراءة التيار المُتسرب عند الدقيقة (10 min) من زمن الفحص.

$$PI = \frac{R_{10 \text{ min}}}{R_{1 \text{ min}}} = \frac{I_{1 \text{ min}}}{I_{10 \text{ min}}} \quad (2.4)$$

حيث:

PI	مؤشر الإستقطاب Polarization Index
$R_{10 \text{ min}}$	قيمة مقاومة العزل عند الدقيقة العاشرة من الفحص (MO)
$R_{1 \text{ min}}$	قيمة مقاومة العزل عند الدقيقة الأولى من الفحص (MO)
$I_{1 \text{ min}}$	قيمة التيار المُتسرب من خلال العازل عند الدقيقة الأولى من الفحص (IA)
$I_{10 \text{ min}}$	قيمة التيار المُتسرب من خلال العازل عند الدقيقة العاشرة من الفحص (IA)

كما ويحذر الإشارة إلى أنه من مميزات هذا الأسلوب (PI) عدم حاجته لقيمة فحص سابقة يتم مقارنتها بها وكذلك لا تؤثر درجة الحرارة والرطوبة على قيمته النهائية، حيث أن درجة الحرارة والرطوبة الجوية عند الدقيقة الأولى هي نفسها عند الدقيقة 10 من الفحص والقيمة المُقاسه (PI) هي عبارة عن نسبة (Ratio)



الشكل رقم (2-5)

ومنه يُمكن ملاحظة أن جزء هذا الفحص يستخدم أسبوبي الفحص (PI و AI) يُمكن من خلاله استخلاص العلاقة بين مقاومة العزل (Insulation Resistance) والرمس، حيث يُصبح بتسجيل قيمة معاومة العزل عند جزء هذا الفحص بأسلوب مؤشر الاستقطاب (PI) كل دقيقة وذلك لرسم منحنى تعبر المقاومة مع الزمن وملاحظة ارتفاع قيمة هذه المقاومة مع الزمن، كما هو مبين في الشكل (2-5)

ملحوظة (2-2): يتم تطبيق هذا الفحص باستخدام لأساليب (PI و AI) للكشف عن جودة المواد العازلة الصلبة (Solid dielectric) لذلك لا يصبح بتصنيفها على المحولات الحديثة المغمورة بالزيت (New Oil Immersed Transformer) حسب توصيات معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE C57 152-2013]، وذلك لتأثير الزيت على قيمة الفحص وهذا لا يعكس وضع عزل المحول الراهن على السطح من المولدات والمحركات الكهربائية.



دائراً لشبهه الكثير بين أسبوبي الفحص (AI) ذو الدقة الواحدة و أسبوبي الفحص (PI) ذو العشر فائق، سقى التساؤل المطروح "منى يتم إجراء هذا الفحص بأسبوبي مؤشر الإمتصاص (AI) و منى يتم إجراؤه بأسبوبي مؤشر الاستقطاب (PI)؟"

يُعتبر مؤشر الإمتصاص (AI) أقل دقة في الكشف عن حالة المادة العازلة من نظيره مؤشر الاستقطاب (PI) نظراً لاختلاف زمن هذا الفحص (AI) مقارنةً بنظيره (PI) لذلك فإن الفحص هذا الأسلوب (AI) يُمكن إجراؤه في الحالات التالية:

✓ **صديق الوقت؛** في حال سبق وقت يتم الفحص بالإعتماد على هذا الأسلوب (AI) ذو الدقة الواحدة كونه أكثر دقة في الكشف عن حالة العازل من فترات الإس بقتصير أو كما تُسمى (Spot Test)

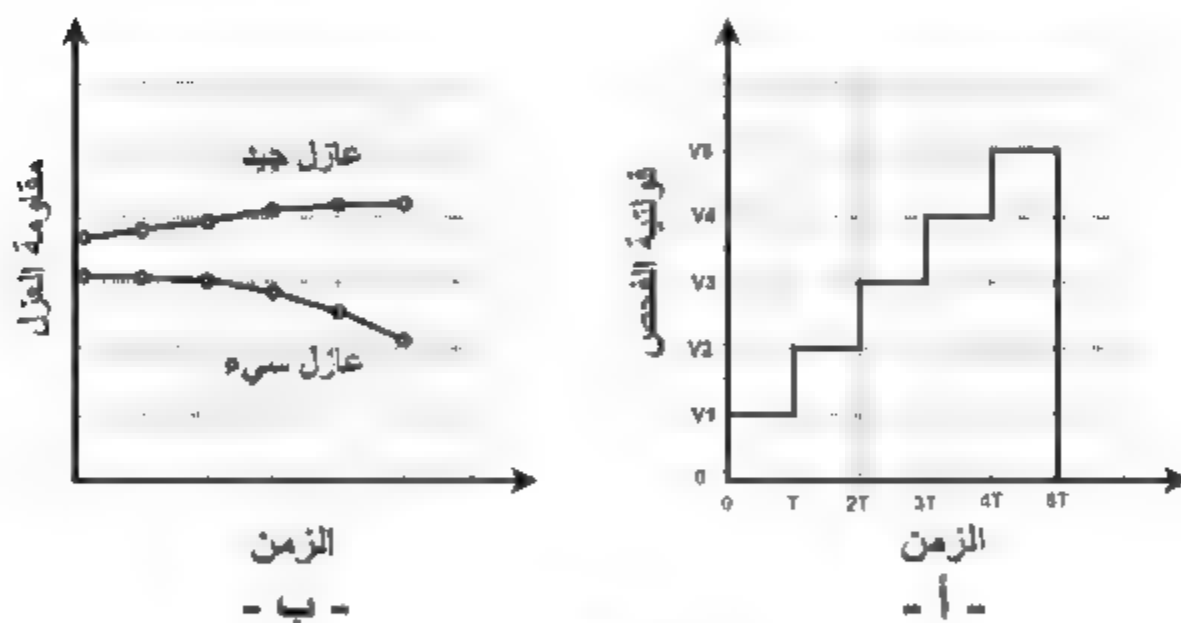
✓ **نوع جهاز الفحص؛** عند استخدام أجهزة الفحص (Megohmmeter) اليدوية (Hand-driven) فإنه من الصعب موصلة بحرك الحث يدوياً لمدة عشر دقائق بهدف إستخراج مؤشر الإمتصاص (PI)، لذلك يتم الإكتفاء بفحص الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (AI).

✓ **نوع العازل العزل فحصه؛** في حال كانت المادة العازلة ذات تيار امتصاص (Absorption Current) يتناقص بشكل سريع، فإن ذلك يريد من بحاجة الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (AI) ومن الحدير بالذكر أنه لهذا النوع من المواد العازل عادة ما يكون قياس مؤشر الإمتصاص (AI) أكثر دقة منه لمؤشر الاستقطاب (PI)، وذلك لثبات قيمة معاومة العزل قس الوصول لدقيقة من زمن الفحص مما يعني أن مقاومة العزل عند دقيقة ستكون مساوية تقريباً لمعاومة العزل عند عشر دقائق وهذا سيعطي قيمة مؤشر استقطاب (PI) مساوياً (1) مما لا يعكس حالة العزل الحقيقية للمادة

لذلك عادة ما يتم الإكتفاء بجزء هذا الفحص بأسلوب مؤشر الاستقطاب (PI) عوضاً عن مؤشر الإمتصاص (AI)

5.4 الأسلوب الرابع: قراءات المقاومة المرتبطة بالفولتية – Step-voltage Readings :5V

وأيضاً يُسمى بفحص الدُّرَج بالفولتية (DC Voltage Tip-Up Test)، عادة ما يتم الكشف عن تلوث المعدة العارلة بامبار وغيره من الملوثات كالرطوبة غير أساليب الفحص لفُرْسطة بارس مثل مؤشر الإمتصاص والإستقطاب (PI و AI) سائلي الذكر، أما في هذا الأسلوب فإنه يكشف عن تحيُوت المادة لدرجة التي يصير مع إرتفاع فولتية الفحص مثل وجود أضرار موضعية كالتشويش أو غيرها من الأضرار العريضة بالإلتصاق إلى كشف عن العزل المُتقادم بالرغم من بقاء هذا العارلة وحيوية من الرطوبة، حيث يتم في هذا الأسلوب بتطبيق فولتيته ثابتة (DC Voltage) بشكلاً مُتدرج على المادة لدرجة حتى الوصول إلى الفولتية الكاملة لفحص ومراقبة قيمة مقاومة العزل عند كل درجة كما هو مبين في الشكل (2-6) (أ)، وكما هو مرسوم أن العزل الجيد يمكن التعبير عنه بمقاومته لذلك عند ارتفاع فولتية الفحص لمُطابقته على العزل لا تُدعى إرتفاع قيمته البير لتعريف ذلك بحدوده على قيمته بمقاومته لعزل ثابتته، و في حال ظهور أي حمل به، قيمته إرتفاع الفولتية والتغير أثناء الفحص فإن هذا يدل على وجود سُشكته في هذا العزل (2-6) (ب) ومن هنا، الأسلوب يمكن استخلاص العلاقة بين مقاومة العزل (Insulation Resistance) والفولتية



الشكل رقم (2-6)

و أهم أكثر لهذا الإلكترون سيعبر انما كلما بتطبيق فولتية مقدارها (500V) فوق على مادة عازلة هدف فيس مقاومة العزل لهذا المادة من المرحح في هذه الحالة الحصول على قيمة مقاومة عزل حده ما رغم من وجود فجوات داخل هذه المادة ام يمكن من الكشف عنها، إلا أنه بعد زيادة فولتية لفحص الفحصه مثلاً إلى (1000V) قويات يحدث تأين (Ionization) الفجوات داخل هذه المادة اعارله مما يريد من قيمة التيار السري وتقلل من قيمه معاومه العزل ويبيح لنا لكشف عن هذه المعجوت في المادة العازلة



ملحوظة (2-3): عادة يتم التدرّج في رفع قيمة لمولتية بحيث يكون زمن لخطوة متساوي لجميع الخطوات، فمثلاً لو أردنا عمل على فحص على مدة خمس دقائق نقوم برفع مستوى المولتية كل دقيقة من الزمن.



ملحوظة (2-4): نُبصّح في بعض الأحيان أن لا نحاور قيمة فوسية فحص باستخدام هذا الأسلوب أكثر من 60% من (Withstanding voltage) الفحوص، وكذلك أن لا نتجاوز المولتية الاسمية المملعات حتى لا نُلحق به أضرار بمصنوعه بعزل.



ملحوظة (2-5): يُبصّح بإجراء هذا الفحص بأسلوب مؤشر الإستعطاب (PI) قس الأيام لهذا الأسلوب لتأكد من أن العازل قلار على بحسن أغزتيه امربعة سَططته في هذا الأسلوب

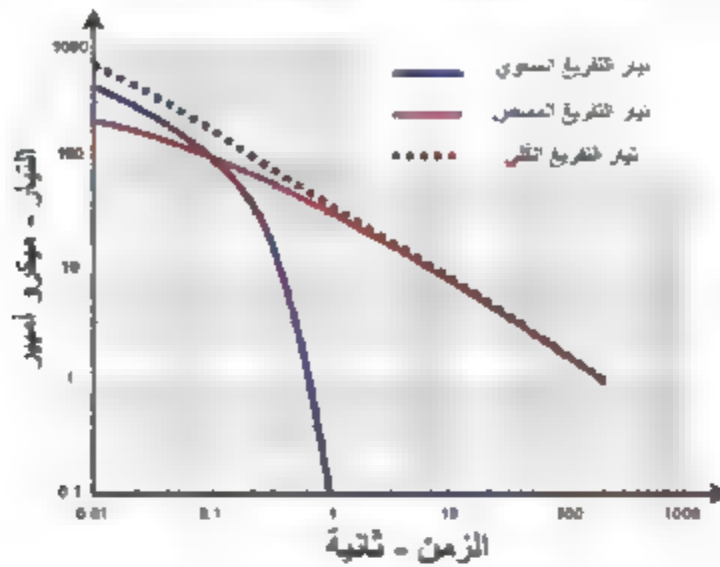
5.5 الأسلوب الخامس: قراءات تيار تفريغ العازل - Re-absorption Current or Dielectric Discharge DD :

كما تم شرحه سابقاً في فاسعة الفحص فإنه عند تدعيم نوعيّة ثابته (DC Voltage) على العازل تنشأ عدة تيارات منها ما هو شعوي لشحن مواسعة العازل (I_C) ومنها ما يتم إستيعابه من قبل العازل لترتيب جزيئاته الداخلية (I_A) ومنها ما ينسرب من خلال المادة العازلة وعلى سطحها على شكل تيار مادي (I_L و I_S).

ولكن بعد زول تأثير مولتيه ثابته (DC Voltage) المُطبقة على المادة العازلة (وهو ما يتم عمله في هذا الأسلوب) فإن تيارات المادة المُسترسه من خلال العازل وعلى سطحه (I_L و I_S) تصبح قيمتهما قُرابة لصفر في وقت قليل جداً، ذلك سيتم بهما لهما في هذا الأسلوب، أما فيما يخص تيار شعوي (I_C) فإنه سوف يخفض إلى قُرابة لصفر في عدد ثواني حتى تقوم مواسعة العازل بالتفريغ، وكذلك لحال فيما يخص التيار المُمتص (I_A) أو كما يُسمى بالـ (Re-absorption Current) في حاله هذه (حاله التفريغ) ولكنه يحتاج إلى زمن أكثر من التيار الشعوي حتى يصل إلى أدنى قيمه له فقد يستغرق قُرابة الدقيقة أو الدقيقتين، حيث ينشأ هذا التيار (Re-absorption Current) نتيجة لرجوع أعيد الحريثب الخاصة بالمادة العازلة إلى ترتيبها السابق العشوائي أي قبل تعرضها للمولتيه الثابته (DC Voltage).

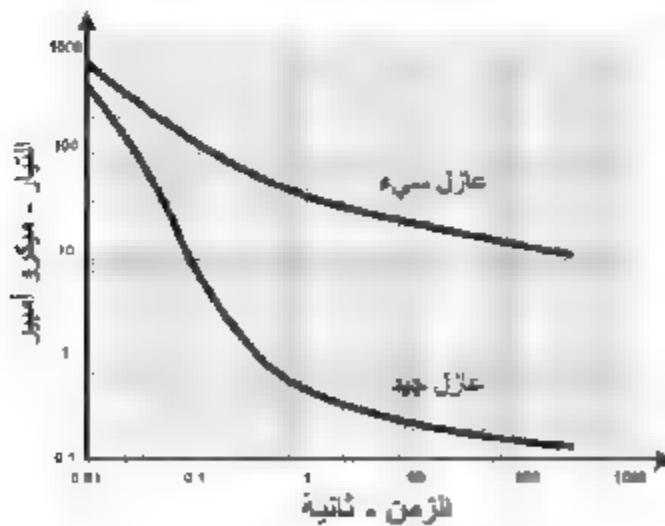
و بطلافاً مما تم شرحه يمكن ملاحظة أن تيارات التفريغ (Discharge Currents) التي تمّ تُعرّض للمادة العازل في فوسية ثابته ومن ثم زولتها، تنحصر بالسر الشعوي (I_C) و التيار المُمتص (I_A) أو كما يُسمى بالـ (Re-absorption Current) في حاله التفريغ، وبسواءً عليه تم الإستعادة من هذا التيار الـ (Re-

absorption Current في الكشف عن حالة هذه المادة العازلة، فإذا كان هذا التيار ذو قيمة مرتفعة فيه يدل على عزل متهوئ بالرطوبة أو غيرها من الشوائب (الشكل (2-7) يوضح تيارا للفرع لى تظهر مباشرة بعد زوال تأثير قولتيه الفحص عن المادة العازلة



الشكل رقم (2-7)

وهذا الأسلوب (**Dielectric Discharge - DD**) يهدف، للكشف عن تسادم وتدهور المادة العازلة وكذلك وجود رطوبة أو محوالت هو فيه (**Voids**) داخل المادة العازلة بالإستناد على ظاهرة تيارا للفرع سابقة الذكر، وعادة ما يُستخدم هذا الأسلوب في فحص العوالت المكوّنة من عدة طبقات (**Multilayer**) حيث يُمكن من الكشف عن إتهير رابطة أو مجموعة من الطبقات (**Layers**) والتي قد ينعكس كشفها، يستخدم، أما في الفحص السابق، حيث وكما هو مرسوم أن عوالت اختراق الهوائية



الشكل رقم (2-8)

المرتفعة (**HV bushings**) عادة ما تتكون من عدة طبقات (**Layers**) من شأنها تقبل الإجهاد الناتج عن العولنية وتجربتها وتكون لكل من هذه الطبقات (**Layers**) مواسعتها الخاصة وتيارا لتسرّب مادي خاص بها، وعند فشل واحدة من هذه الطبقات فإن قيمة المواسعة الكلية قد لا تختلف ولكن تيارا التمرري المادي الخاص بهذه الطبقة سوف يزداد على التطور من ظاهرة زيادة التيار المُمتص سابقة الذكر (**Re-absorption current**) مما تدل على وجود فشل في

فحص الطبقات و يجعل هذا الأسلوب (**DD**) الأكثر نجاحا في الكشف عن وجود فشل في هذه الطبقات من لعزل

يوضح الشكل (2-8) لسائق تيار التفريغ الكُلى للمادة العازلة والتي تناسب عكسياً مع جودة المادة لعازلة

حالياً تقوم العديد من أجهزة الفحص بعض فحص مقاومة العازل وفقاً لهذا الأسلوب (DD) تلقائياً دون الحاجة إلى تجهيزات خاصة، فعند إحصار هذا الأسلوب بقود جهاز الفحص بتطبيق فولتية ثابتة (DC voltage) على العازل مدة طويلة فترته (30 minutes) وذلك للتأكد من أن العازل قد تم شحنه تماماً أي أن تيار الشحن السعوي في أدنى قيمه له وكذلك انتهاء استقطاب جزيئات المادة لعازله أي أن التيار لامتصاص (Absorption current) في كُلى قيمة له، وبعد ذلك يتم إزالة الفولتية المستطبقة على العازل وفيس تيار التفريغ لمدة دقيقة ومن ثم يتم حساب قيمه (Dielectric Discharge DD) وفقاً للمعادلة (25) لورده في الكتيب التفصيلي الخاص بجهاز الفحص المُصنَّع من قبل شركة (MEGGER)

$$\text{Dielectric Discharge DD} = \frac{I_{1min}}{V.C} \quad (25)$$

حيث:

I_{1min} : تيار التفريغ لمدة دقيقة بالملي أمبير (mA)
 V : فولتية الفحص بالفولت (V)
 C : قيمة مو سعة العازل بالفاراد (Farad)

ملحوظة (2-6). هذا الأسلوب من الفحص (Dielectric Discharge - DD) لا يتأثر بمقدار تيار التسرب السطحي للعوازل وكذلك فوسيه الفحص، ولكنه يتأثر بالحرارة لذلك يجب تسجيلها أثناء الفحص



6. توصيلة الفحص

تختلف توصيلة الفحص وفقاً لاختلاف نوع المُعدَّة (Equipment) أو الجزء من المُعدَّة (Part) المُراد فحصه فبما إذا كان محور ثلاثي الألوام ثنائي الملفات (Two Windings) أو ثلاثي الملفات (Tertiary Windings) أو عوارض إخراج (Bushings) أو قلب حديدي المحو (Core) أو دعائم تثبيت المعد (Core Clamp) وذلك لاختلاف منظومة العزل لكل منها كالآتي

6.1 ملفات المحول - Transformer Windings

عند إجراء هذا الفحص على ملفات المحول لا بُد من معرفة نوع المحول فبما إذا كان ثنائي الملفات (Two Windings) أو ثلاثي الملفات (Tertiary Windings)، حيث تختلف توصيلة الفحص وفقاً لنوع هذا المحول لتكون كالآتي.

● المحولات ثلاثية الأطوار ثنائية الملفات - Three Phase Two Windings

تكون أسماء الفحص لهذا النوع من المحولات وفقاً للجدول (2-2) والأشكال التالية توضح التوصيلة لكل نمط

الجدول رقم (2-2)

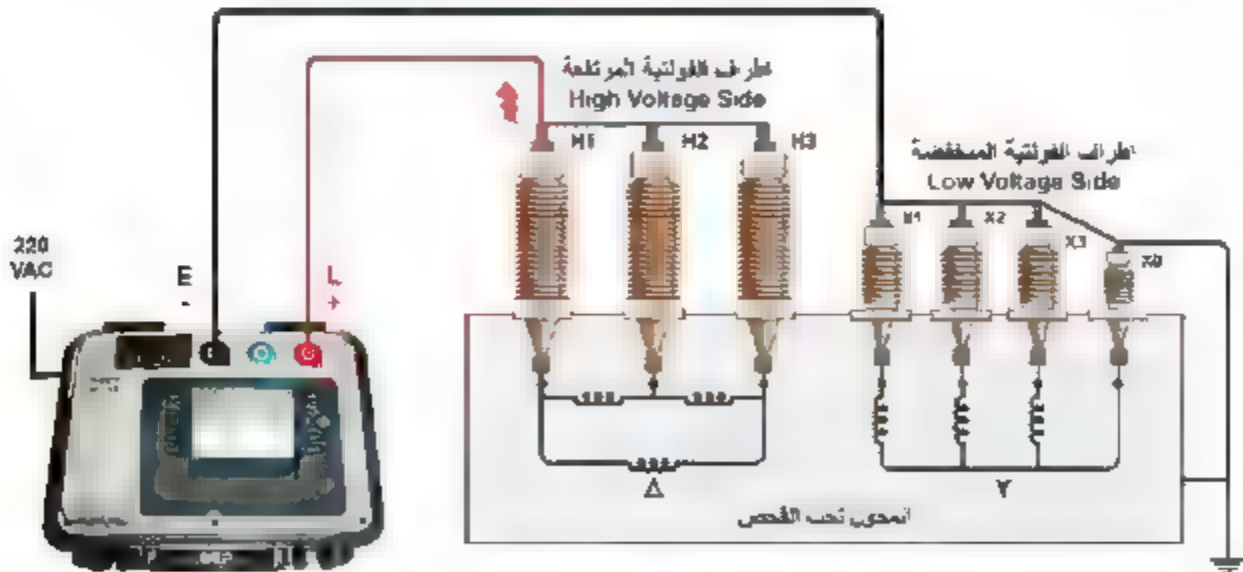
الرقم	أطراف المياس	الرقم	أطراف الغياس
1	HV - LVG	4	LV - HVG
2	HV - G	5	LV - G
3	HV - LV		

حيث:

HV	ملفات الفولتية المرتفعة.
LV	ملفات الفولتية المنخفضة
G	الأرضي (جسم المحول)

○ الفحص بين ملفات الفولتية المرتفعة من جهة وملفات الفولتية المنخفضة والأرضي من جهة أخرى (HV to LVG):

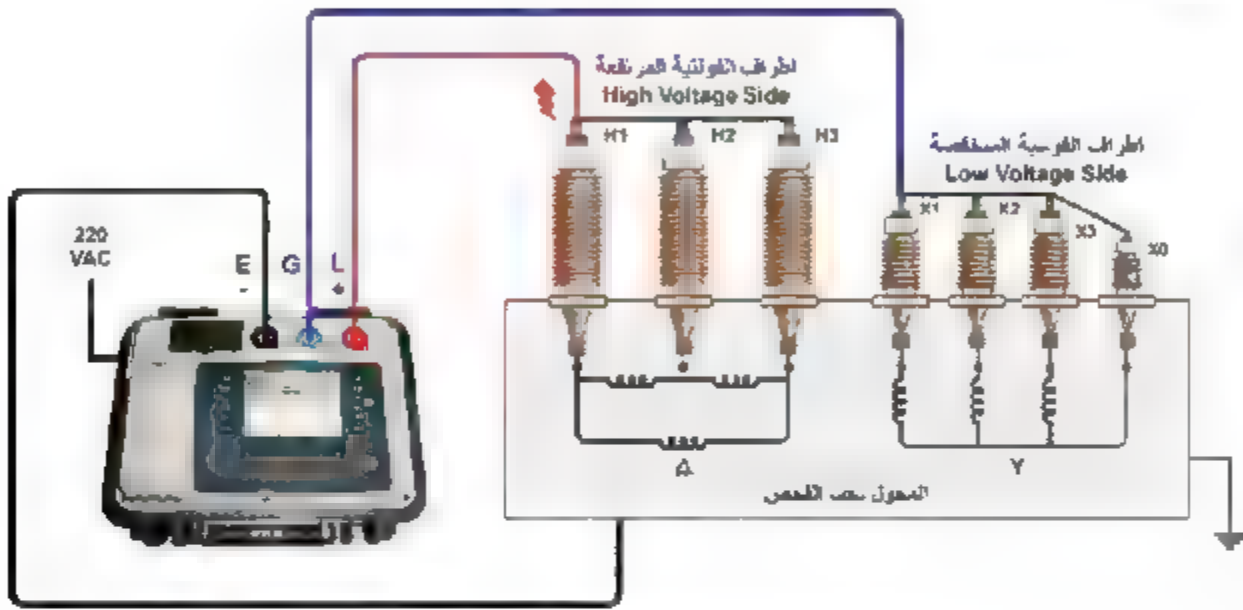
حيث يتم قصر طرف أطوار ملفات الفولتية المرتفعة (H1 و H2 و H3 و H0) (وحدة) مع بعضها وكذلك يتم قصر (SC) أطراف أطوار ملفات الفولتية المنخفضة (X1 و X2 و X3 و X0) (وحدة) مع بعضها ومع الأرضي، ثم يتم توصيل طرف جهاز الفحص الموجب (L) أو (+) بأطراف ملفات الفولتية المرتفعة وتوصيل طرف جهاز الفحص السالب (E) أو (-) بأطراف ملفات الفولتية المنخفضة، موصولة مع الأرضي كما هو موضح في الشكل (2-9)



الشكل رقم (2-9)

○ الفحص بين ملفات الفولتية المرتفعة من جهة و الأرضي من جهة أخرى مع إزالة تأثير ملفات الفولتية المنخفضة (HV to G):

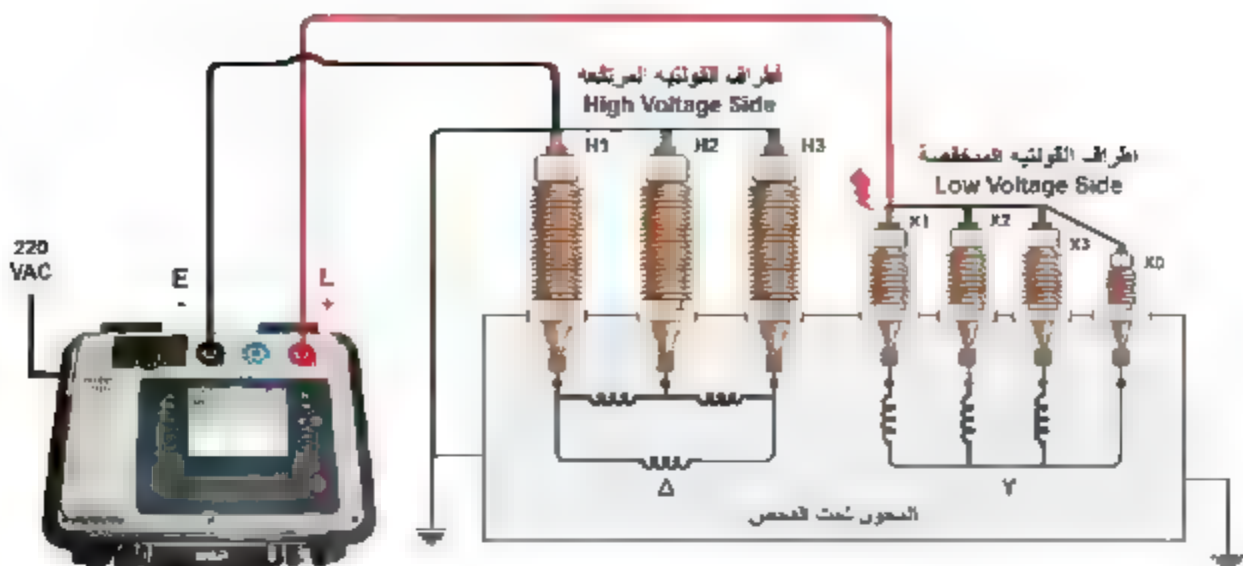
حيث يتم قصر أطراف أطوار ملفات السوائيه المرتفعة (H1 و H2 و H3 و H0 إلى واحد) مع بعضها وكذلك يتم قصر (SC) أطراف أطوار ملفات الفولتية المنخفضة (X1 و X2 و X3 و X0 إلى واحد) مع بعضها، ثم يتم توصيل طرف جهاز الفحص الموجب (L) (+) بأطراف ملفات الفولتية المرتفعة و توصيل طرف جهاز الفحص السالب (E) (-) بحصص المحوّل (الأرضي) مع مراعاة توصيل طرف جهاز الفحص (G) بأطراف ملفات السوائيه المنخفضة كما هو موضح في الشكل (2-10)،



الشكل رقم (2-10)

○ الفحص بين ملفات الفولتية المنخفضة من جهة وملفات الفولتية المرتفعة والأرضي من جهة أخرى (LV to HVG):

حيث يتم قصر أطراف أطوار ملفات السوائيه المنخفضة (X1 و X2 و X3 و X0 إلى واحد) مع بعضها وكذلك يتم قصر (SC) أطراف أطوار ملفات الفولتية المرتفعة (H1 و H2 و H3 و H0 إلى واحد) مع بعضها، ثم يتم توصيل طرف جهاز الفحص الموجب (L) (+) بأطراف ملفات السوائيه المنخفضة و توصيل طرف جهاز الفحص السالب (E) (-) بأطراف ملفات السوائيه المرتفعة الموصولة مع الأرضي كما هو موضح في الشكل (2-11)

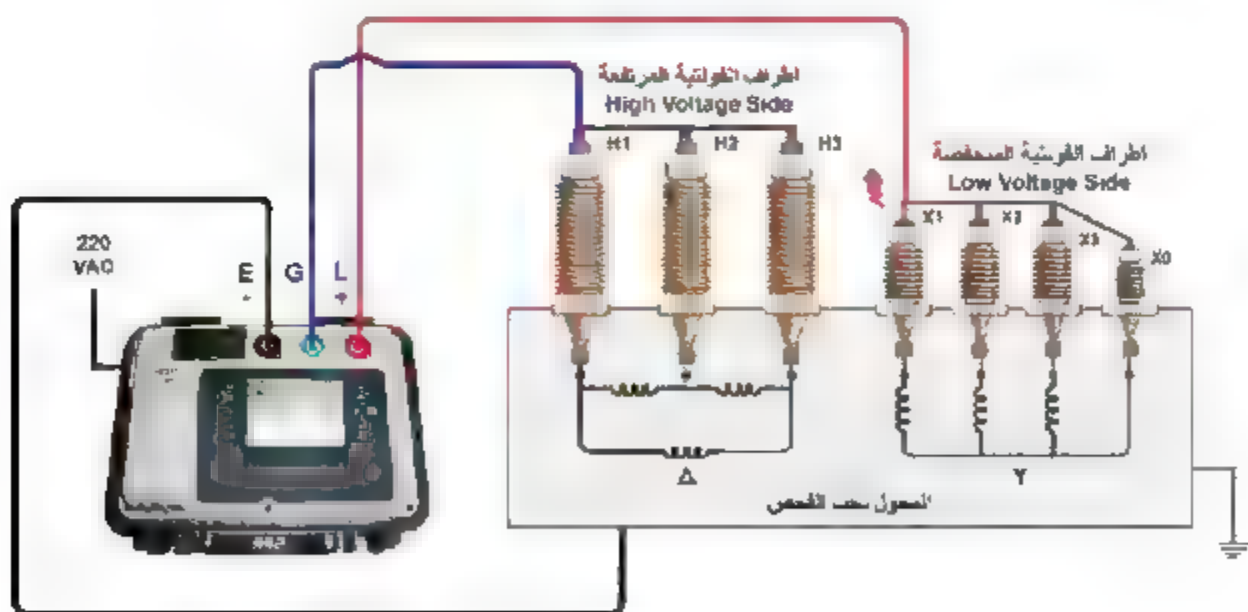


الشكل رقم (11-2)

○ المحصر بين ملفات الفولتية المنخفضة من جهة و الأرضي من جهة أخرى مع إزالة تأثير ملفات الفولتية المرتفعة (LV to G):

حيث يتم قصير (SC) أطراف دوائر ملفات الفولتية المنخفضة (X1 و X2 و X3 و X0، ووجد) مع بعضها وكذلك يتم قصير (SC) أطراف أطوار ملفات الفولتية المرتفعة (H1 و H2 و H3 و H0، ووجد) مع بعضها، ثم يتم توصيل طرف جهاز الفحص الموجب (L) (+) بأطراف ملفات الفولتية المنخفضة و توصيل طرف جهاز الفحص السالب (E) (-) بحجم المحول (الأرضي) مع مراعاة توصيل طرف جهاز الفحص (G) بأطراف ملفات الفولتية المرتفعة كما هو موضح في الشكل (2-12)

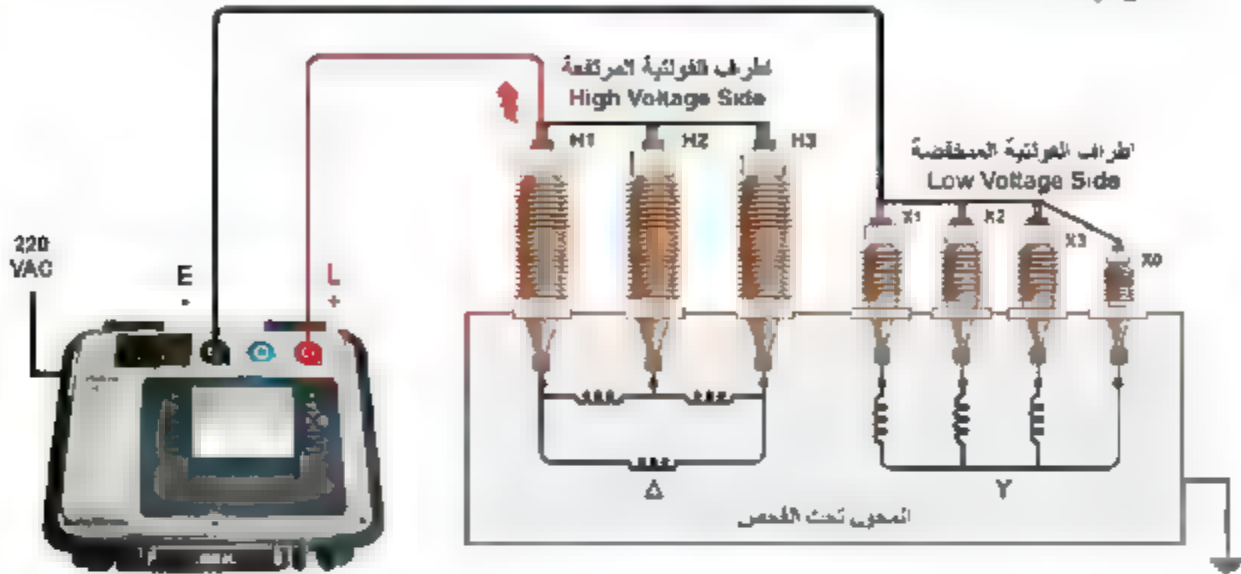
(12)



الشكل رقم (12-2)

○ المحص بين ملفات الفولتية المرتفعة من جهة وملفات الفولتية المنخفضة من جهة أخرى (HV to LV):

حيث يتم قصر (SC) أطراف أطوار ملفات التوائيه المرتفعة (H1 و H2 و H3 و H0 إلى واحد) مع بعضها وكذلك يتم قصر (SC) أطراف أطوار ملفات الفولتية المنخفضة (X1 و X2 و X3 و X0 إلى واحد) مع بعضها، ثم يتم توصيل طرف جهاز التحص الموجب (L) (+) بأطراف ملفات الفولتية المرتفعة و توصيل طرف جهاز التحص السالب (E) (-) بأطراف ملفات الفولتية المنخفضة كما هو موضح في الشكل (2-13)



الشكل رقم (2-13)

المحولات ثلاثية الأطوار ثلاثية الملفات - Three Phase Tertiary Windings

يكون أبعاد التحص لهذا النوع من المحولات وفقاً للجدول (2-3) أدنى

الجدول رقم (2-3)

الرقم	أطراف القياس	الرقم	أطراف القياس
1	HV - LVTVG	5	HMLV - TVG
2	LV - HMTVG	6	HMTV - LVG
3	TV - HMLVG	7	LVTV - HMG
4	HMLTV - G		

حيث:

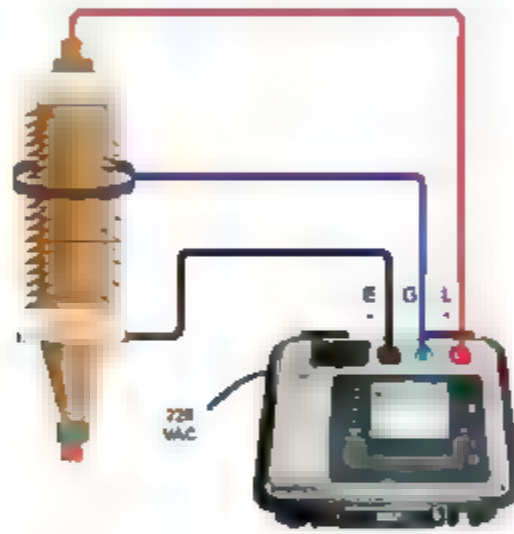
HV : ملفات الفولتية المرتفعة.
 LV : ملفات الفولتية المنخفضة رقم (1)
 TV : ملفات الفولتية المنخفضة رقم (2)
 G : الأرضي (جسم المحول)



ملحوظة (2-7): «محوصات بإسراع الأنماط» سابقة الذكر تعيس مقاومة لعزل للملعب وعوارل الإحترق معاً (Transformer Bushings)

6.2 عوازل الإحترق أو الجلب – Bushings

في حال كانت عوارل الإحترق تُفصصة عن المحول (في تركيبها) وكما هو حل بأسسة المصنوع للمحول فإن هذه المصنوع يمكن تطبيقه على هذا النوع من العوارل (Transformer Bushings) وذلك لكشف من حالة نظام العزل الخاص بها، ويتم توصيل جهاز لفحص مع عزل الإحترق كما هو موضح في الشكل (2-14).



الشكل رقم (2-14)

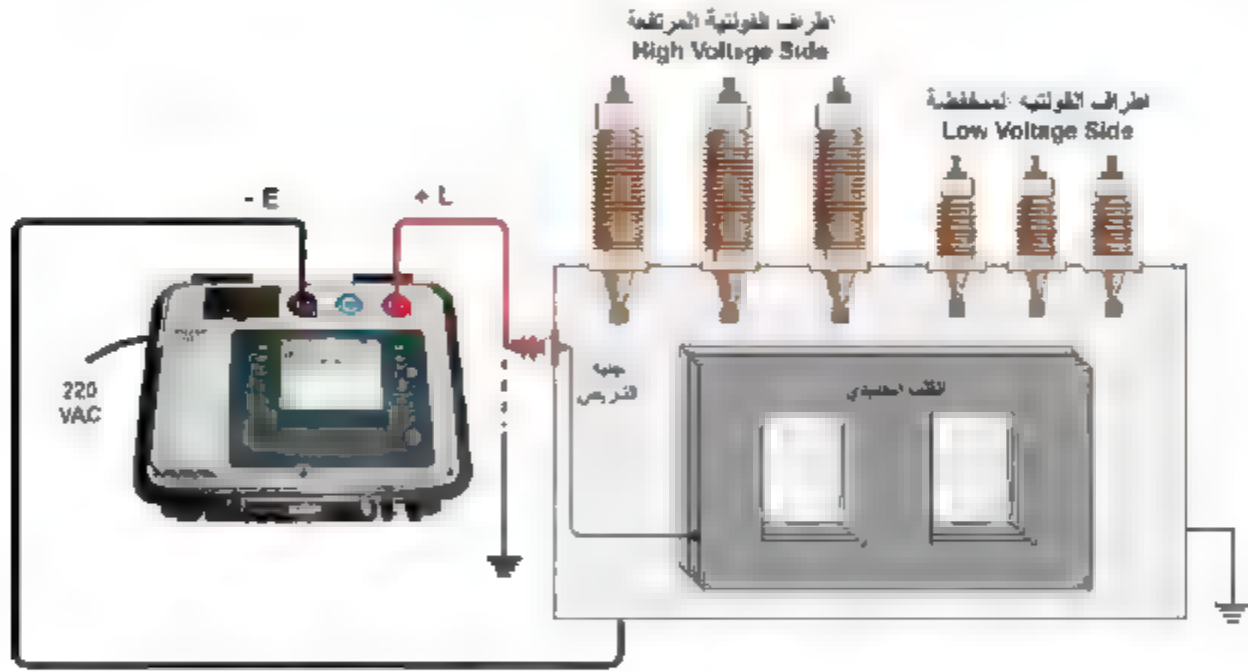
6.3 القلب الحديدي – Iron Core

كما تم شرحه في الفصل الأول فإن القلب الحديدي للمحول يكون موصول بالأرض من خلال عزل إحترق أو كما تُسمى حبة الأرض (Core Grounding Bushing) وذلك للتخلص من العوازل غير المرغوب بها والتي تنشأ من مجموعات التصفيح لهذا القلب، بحيث يتم تأريضه من نقطة واحدة فقط بموصل حاسي بحيث حدوث اي ارتداد دائرة (Circulating currents) بالإضافة إلى تأمين مرور التيار في الخلل الخاصة بالقلب أو ما يُسمى بال (Electrical Fault path) للرجوع لمصدرها معاً يظهر العولتبات المرصعة المصاحبة للتيارات العطف مما قد يؤدي المود انحرافه الخاصة بهذا القلب، لذلك يُصبح فحص هذا المصنوع للقلب الحديدي بشكل روتيني خلال فترة توقف المحول أثناء الصيانة الشاملة (Major Inspection) وبعد فترة قصيرة من كهربة المحول (Transformer energization) للمرة الأولى بالموقع وكذلك بعد غمسب الصيانة أو اعملى اتي من شأنه التأثير على نظام العزل الخاص بهذا القلب، أما بشكل تشخيصي فإنه يُصبح يعمل هذا المصنوع في حال ارتفع درجة حرارة المحول أو ظهور بعض العوارل بالزيت وخاصة غازات حماء المعدن سابقة الذكر فإنه قد يكون اسبب فشل في نظام العزل الخاص بالقلب الحديدي للمحول مما يؤدي لوجود بقعة أو نقاط تأريض بالقلب

الحديدي من أكثر من مكان غير المكان المخصص لذلك (غير جُلته التأريض) مُسبباً تيارات دوّارة (Circulating currents) من شأنها رفع درجة حرره المحول

وحدة ما يتم إجراء هذا الفصل بين القلب الحديدي من جهة والأرضي من جهة أخرى (Core to Ground) وذلك لسأكد من سلامة نظام العزل الرئيسي الخاص بهذا القلب، و أيضاً يُمكن إجراء هذا الفصل بين القلب الحديدي من جهة ودء ثم تثبيت القلب والأرضي من جهة أخرى (Core to Core) (Clamp + Ground

لشكل (2-15) بوصف توصية الفصل الخاصة بالقلب الحديدي (Core to Ground)، بحيث يتم فصل كابل التأريض عن عازل الإحتراق و كما تُسمى جُلته التأريض (Grounding Bushing) و من ثم توصيل طرف جهاز الفصل الموجب (L) (+) مع طرف مدخل إحتراق أو كما تُسمى حُبة التأريض (Grounding Bushing) لحصنه بالقلب الحديدي (بعد فصل جُلته عن الأرضي)، ويتم توصيل طرف جهاز الفصل السالب (E) (-) بالأرضي أو جسم المحول



الشكل رقم (2-15)

في حال تبيين عطل في عزل القلب (وجود نقاط تأريض أخرى للقلب الحديدي غير المخصصة له) أو بعد مرسة شركة المصنعة لهذا المحول (OEM) يُمكن اتّخاذ إجراء تصحيحية لدية:

✓ إضافة معاومته بمقداره نصف كيلو أوم على الحفظ الواصل بين القلب الحديدي والأرض و لشي من شأنها الحد من التيارات الدوّارة في حاول تكونها حيث أن هذا الإجراء لا يقوم بإزالة المشكلة من الأساس و بما يخفف من تأثيرها حسب ما ورد في معيار مهندسي الكهنياء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013]

✓ يتم لفريق على حزم المحول مما يولد اهتزازات من شأنها إزالة نقطة الأرض غير المرغوب بها حسب ماورد في [Air Force Handbook, Field Guide for Inspection, Evaluation, and Maintenance Criteria for Electrical Transformers 32-1282V2]، وتعد هذه الطريقة من الطرق القديمة والتي لا يُصحح بها المته.

✓ يستخدم طريقة الحرق (Burn off)، وذلك بحرق تيار ثابت أو متردد في القلب مع مرعاه أن لا يتجاوز قيمه معينة مثل 40 أو 50 أمبير بشكل مُتدرج حسب ما ورد في [Bureau of Reclamation, Transformer Maintenance FST 3-30]، حيث يقوم هذا السار بحرق وإزالة بقطة الأرض غير المرغوب بها وتُعد هذه الطريقة من الطرق القديمة وفي بعض الأحيان تنجح في حل مشكلته وفي أحيان أخرى لا تنجح وقد تتسبب بزيادة المشكلته، لذلك يجب التواصل مع مُصنّع المحول (OEM) قبل استخدام هذه الطريقة

كما وتُعد الإشارة إلى أن مشكلته ظهور نقاط تأريض متعددة للقلب حديدي تكون ذات تأثير كبير على قلب الحديدي ثلاثي الأعمدة أو ما يُسمى بالـ (Core Type)، تُعد القلب حديدي من النوع خاصي لأعمدة أو كما يُسمى بالـ (Shell Type) فإن هذه المشكلته في القلب لا تُعتبر ذات أهمية كبيرة [Air Force Handbook, Field Guide for Inspection, Evaluation, and Maintenance Criteria for Electrical Transformers 32-1282V2]

ملحوظة (2-8): المحولات ثلاثية أطوار ذات القلب الحديدي من النوع خماسي الأعمدة أو كما يُسمى بالـ (Shell Type) والمُصنّعة من العام (1997) لا تحتوي على عازل إحراق تأريض ظاهر (Grounding Bushing) يُمكن الوصول إليه بسهولة، لذلك قد يتعدى أسياد هذا المخصص في هذه الحالة يجب التواصل مع المُصنّع في حل وجود دلائل تشير على وجود عطل في هذا القلب الحديدي [IEEE Std C57.152-2013]



ملحوظة (2-9): من لأعداد الأكثر انتشاراً هي وجود عطل أرضي على الخط وواوامين من القلب الحديدي و الأرض، يحدث يكون مكان التأريض (العطل) قريب من عزل الإحراق أو ما يُسمى قلبه تأريض القلب (Core Grounding Bushing)، وفي هذه الحالة يُمكن للمحول الإستمرار بالعمل دون مخاوف من تكون بيارات ذوارة ذات تأثير كبير.

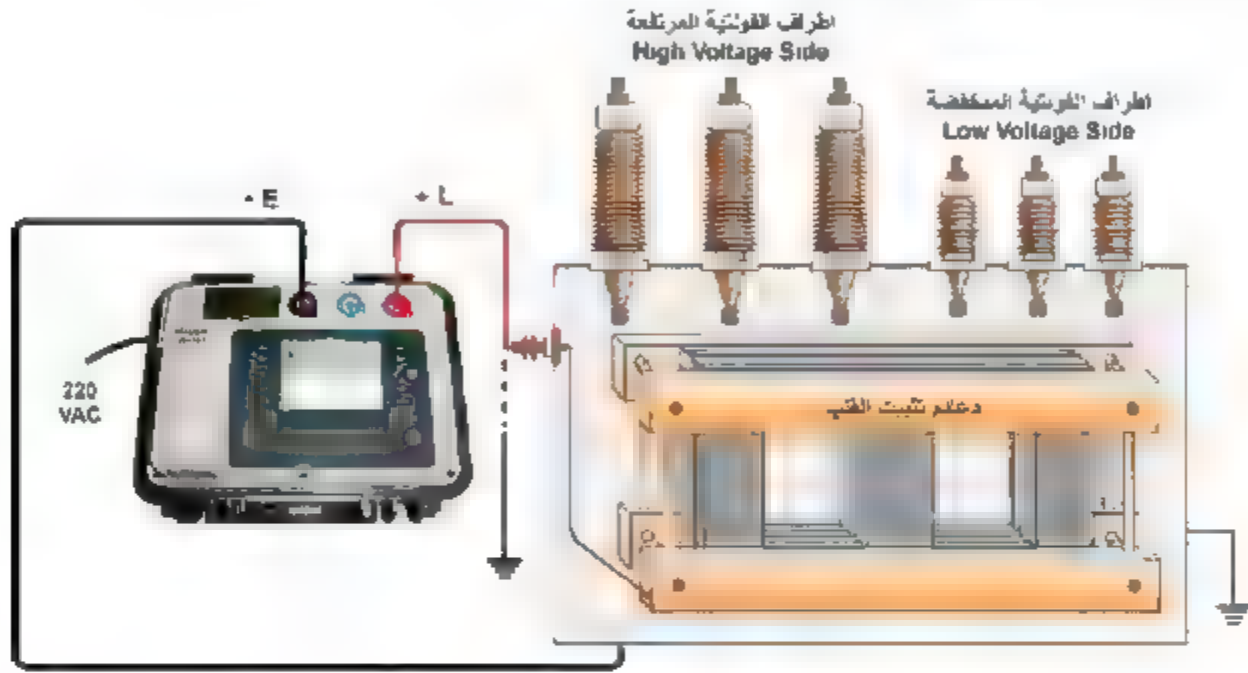


6.4 دعائم تثبيت القلب – Core Clamp

بما أن دعائم التثبيت الخاصة بالقلب الحديدي (Core Clamp) تتكون من أجزاء معدنية و كما هو معيّن لها تقع في مرمى لبعض المُسببات من القلب الحديدي على غرار القلب الحديدي نفسه، كان لزاماً عزل هذه الدعائم عن الأرض وأرضيتها من نقطة واحدة فقط، كما هو الحال في القلب الحديدي ولأسباب دينية، لذلك يُمكن أيضاً تطبيق فحص مقاومة العزل (Insulation Resistance - IR) على

هذه العدائيم، وذلك بقياس مقاومة العزل بين دعامات التثبيت و الأرض (Core Clamp to Ground) أو بين دعامات التثبيت والقلب حديدي (Core Clamp to Core + Ground)

الشكل (2-16) يوضح توصلة الفحص الخاصة بدعامات التثبيت (Core Clamp to Ground)، بحيث يتم فصل كيبل الأرض عن عازل الإحتراق أو كما يُسمى جُلْبُه الأرضي (Grounding Bushing) ومن ثم وصل طرف جهاز الفحص الموجب (L) (+) مع طرف حلبة التوزيع الخاصة بدعامات التثبيت (Core Clamp Grounding Bushing) ثم يتم وصل طرف جهاز الفحص السالب (E) (-) بالأرضي أو جسم المحول كما هو موضح في الشكل (2-16)



الشكل رقم (2-16)

7. خطوات الفحص

لخطوات التالية م وضعها بالاعتماد على المعايير الخاصة بمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE C57.152-2013]، لإضفاء إلى الخبرة العملية في فحص هذا الفحص في موقع

7.1 عزل المحور كهربائياً (Transformer De-energization) مع مراعاة تطبيق نظام (إفصال مصدر الطاقة ووضعه لافتات عليها) أو ما يُسمى بنظام القفل (Lock-out Tag-out LOTO)

7.2 عزل نظام مكافحة الحريق بالماء (أو كما يُسمى بنظام تبريد حرن محول) وسع انتشار الحريق) لخاص بالمحول المفرد فحصه جشبه عمل النظام بشكل خاطئ أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي لمخاطر القوس الكهربائي وما يصطوي عليه من مخاطر على الأشخاص أو لمحول خاصه أثناء تطبيق الفولتية على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز فحص نفسه

7.3 تطبيق كافة إجراءات لسلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية الخاصة في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Recommended Practices for Safety in High-

[ANSI National Voltage and High-Power Testing] و المعهد الوطني الأمريكي للمعايير
[Electrical Safety Code] و منظمة إدارة السلامة والصحة المهنية [OSHA Specifications
for Accident Prevention Signs and Tags]

7.4 التأكد من توصيل حزام المحول (Transformer Tank) ونقل الحديد (Iron Core) للأرض طيلة مدة الفحص.

7.5 فتح أطراف الفولتية المنخفضة (LV side terminals) والفولتية المرتفعة (HV side terminals) وذلك بترتيب الموصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذا أن يحال بقطعه لتعادل (Neutral point) المحول بوحدة.

تحذير: يجب تأريض كوابل الفولتية المرتفعة إما عبر مُستعجلات الأرض (Earthings Dis-connector) أو المتحركة (Portable) قبل البدء بفك هذه الكوابل عن عوزل إحداهن 'محولات' (Bushings)، وذلك إما في تحويلة من فوطة حثية (Induction voltage) ناتجة عن المعدات أو الخطوط الهوائية (Overhead Lines - OHL) المحيطة بالمحول أو فرد وحده والمشحونة بفولتات مرتفعة.



7.6 فحص أية أجزاء ثانوية مُربطة بمعدات المحول من محولات فولتية (Voltage transformers) وحديقة (معدة) مصواتق (Surge arresters) و المكثفات (Capacitors) أو أية عدادات (Meters) وغيرها من الأجهزة الثانوية كوجود المُحسّسات الخاصة بقياس التفريغ الجزئي (PD) (Couplers).

7.7 تفريغ شحنات المخزنة بمعدات المحول قبل الفحص (Trapped Charges) وذلك بفحص دوائر المداخل (Short circuit) وتأريضها إما من الأرض كما سيتم شرحه في آخر الفصل.

7.8 توصيل أطراف أطوار الفولتية المرتفعة (HV terminals) مع بعضها، وكذلك أطراف أطوار الفولتية المنخفضة (LV terminals)، و التأكد من أن أسلاك التوصيل غير ملامسة جسم المحول أو الأرض.

ملحوظة (2-10) في حال كانت ملفات المحول موصولة على شكل نجمة (Y - Star) يجب توصيل بقطعه التعادل (Neutral point HD or XO) مع الأطراف الخاصة بها كما هو مبين في النقطة السابقة.



تحذير: يجب تجنب براك أطراف المحول مفتوحة (Open Circuit) على أي حال دون عمل وصله قصر (Short circuit) بين هذه الأطراف طيلة مدة الفحص.



7.9

جهاز فحص ميغا أوميتر (Megohmmeter) مدمج كالأتي

- ✓ ذو مستوى فولتية فحص ثامه (DC Voltage) مناسب، عادة أجهزة الفحص ذات مستوى الفولتية (5kV) كيلو فولت تُعتبر كافية
- ✓ ذو تدرج مقبولة مُناسب، عادة أجهزة الفحص ذات تدرج المقبولة دامجاً ومُعتبر كافية
- ✓ تحتوي جهاز الفحص على الأسلوب المُراد ستخدمه في الفحص (IR, DAR/AI, PI, SV or (DD

7.10

عمل توصيله الفحص المناسبه كما تم شرحه مسبقاً في فقرة توصيله الفحص

7.11

تشغيل جهاز الفحص وتحديد مستوى فولتية الإختيار الشبه (DC Test Voltage) للمحول، حيث عادة ما تكون فولتية الفحص لمعاملات (5000V - 1000V) فولت حسب معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE C57.152-2013]، وكذلك أوردت المعايير الخاصة بالمعهد الوطني لأمريكي للمعايير [ANSI/NETA ATS-2009 Table100.5] حدود (2-4) ولدي يوضح فولتية الفحص المناسبه للمعاملات تبعاً لفولتية التشغيلية لهذه المعاملات

الجدول رقم (2-4)

أقل قيمة فولتية فحص (DC Voltage)	مقدار الفولتية المترددة التشغيلية لملف المحول (AC Voltage)
1000 فولت	0 - 600 فولت
2500 فولت	601 - 5000 فولت
5000 فولت	أكثر من 5000 فولت

وعند تطبيق هذا الفحص على الملف الحديدي يكون مستوى الفولتية المُصنقة (500V) فولت فقط حسب المعايير الصادرة عن المعهد الوطني لأمريكي للمعايير [ANSI/NETA ATS-2009]، وأن لا تزيد الفولتية المُصنقة عن (1000V) فولت حسب المعايير الصادرة عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013]

7.12

يقوم بالفحص بين مجموعته المعاملات والأرض أو بين مجموعتي المعاملات أو بين القس، حديدي والأرض أو دعائم تثبيت القس والأرض وفقاً لخصائص الموصلة في الملحق رقم (2-1) في حال استخدام جهاز الفحص (Insulation Tester MIT 1025 10kV) المُصنّع بواسطة شركه (MEGGER)، والملحق (2-2) في حال استخدام جهاز الفحص (TeraOhmXA MI 3210 10kV) المُصنّع بواسطة شركه (METREL)، والملحق (2-3) في حال استخدام جهاز الفحص (1555 10kV insulation tester) المُصنّع بواسطة شركه (FLUKE)

7.13

بعد الانتهاء من الفحص يتم وصل المعاملات بالأرضي لفترة من الزمن لحين ليخلص من شحنه المعاملات أو ما يُسمى بالشحن (Trapped Charges)

تحذير: لا تُقَم بعمل هذا الفحص للمحولات المغمورة بالزيت (Oil Immersed Transformers) في حال كانت مُعرّضة من الزيت، لأن قيمة مقاومة لعزل بوحود الهواء أقل بكثير من قيمه المقاومة بوحود زيت المحول مما يؤدي إلى قيمة غير دقيقة لفحص وخوفاً من حدوث وميض قوس كهربائي (Flashover) مع الأرض



تحذير: لا تُقَم بعمل هذا الفحص للمحولات المغمورة بالزيت (Oil Immersed Transformer) في حال كان فارغ من الزيت ومُعرّج من الهواء أيضاً (Under Vacuum)، وذلك خوفاً من حدوث وميض قوس كهربائي (Flashover) مع الأرض



تحذير: لا نستخدم جهاز الميجا أوميتر (Megohmmeter) في الأجواء القابلة للاشتعال (Explosive atmosphere) أو في الاجواء الرطبة.



تحذير: يجب إيقاف الفحص بسرعة في حال ملاحظة زيادة كبير في قيمة التيار المستمر دون استقرار



تحذير: لا تُقَم بإزالة أسلاك الفحص (Test Leads) عن المحول بعد انتهاء الفحص مباشرة لتجنب حدوث شرارة قوس كهربائي (Arc flash)، بل يجب إزالتها من الفحص لحين إنتهاؤه من ضربيع شحنة الملفات، حيث يُقدر زمن التفريغ من (- 30s 60s) ثانية.



ملحوظة (11-2). عبات، التأكد من سلامة أسلاك الفحص (Test leads) وعدم وجود قطع في هذه الأسلاك والتي من شأنه عطاء نتيجة فحص مضبوطة غير واقعية، يُمكن إجراء فحص أولي عن طريق دمس أسلاك الفحص مع بعضها (وتصل لطرف الموجب بالباطن) ودشغيل الجيار المُذكر، من أن الجيار لن يتوق بناءً فورية من الأساس وأن مقاومة العزل قرابة الصفر



8. تصحيح القيمة المُقاسة

يُعد هذا الفحص من الفحوصات التي تتأثر قيمتها بدرجة حرارة العازلة تحت الفحص والتي تمثل حرارة الزيت المغمورة بالزيت بعد إستقرار درجة حرارة المحول كما تم ذكره مُسبقاً، لذلك ولعبت مُقارنه قيم المقاومة المُسجّه عن هذا فحص بقيم فحوصات القبول المُصنعية

(Factory Acceptance Test – FAT) أو الموقعية (Site Acceptance Test – SAT) أو غيرها من لقيم المرجعية كمنح الفحوصات الروتينية السابقة (Routine Test) لهذا الفحص. يجب تصحيح قيم هذه المقومات لدرجة الحرارة المرجعية القياسية وهي عادةً (20°) درجة مئوية حسب المعهد الوطني الأمريكي لمعيار (ANSI) وغيرها من المعايير العالمية وذلك باستخدام الطرق الباعية

8.1 حسب الخبرة – Role of thumb

حسب التجربة و خبره مُسبقة يمكن القول أن ارتفاع درجة حرارة الخادة العازلة بمقدار عشر درجات مئوية من شأنه تقليل قيمة مقاومة العزل إلى النصف والعكس صحيح.

مثال: إذا كانت قيمة مقاومة العزل (100 MQ) ميعاً أوم عند درجة الحرارة المئوية (30°) فإن قيمة مقاومة العزل عند درجة الحرارة المئوية (20°) تساوي (200 MQ) ميعاً أوم.

ملحوظة (2-12). هذه الطريقة غير دقيقة كقاعدة خاصة، كما يمكن أن تكون الحرارة التي تُحرر عندها الفحص من مضاعفات العدد عشرة.



8.2 حسابياً – Mathematically

وذلك بتطبيق المعادلة التالية حسب المعهد الوطني الأمريكي للمعايير [ANSI/NETA ATS-2009]

$$R_{20} = R_T \cdot k_T \quad (26)$$

حيث:

R_{20} : قيمة المقاومة عند درجة حرارة (20°) درجة مئوية

R_T : قيمة المقاومة المقاسة عند درجة حرارة T

k_T : معامل تصحيح المقاومة والذي يمكن إستخراج قيمته بطريقتين:

- الطريقة الأولى : حسب المعهد الوطني الأمريكي للمعايير [ANSI/NETA ATS-2009]

$$k_T = 0.2525 \cdot e^{0.0689T} \quad (27)$$

حيث:

T : درجة الحرارة المئوية (C°) أثناء إجراء الفحص.

- الطريقة الثانية : يمكن إيجاد قيمة معامل التصحيح (k_T) بالرجوع إلى الجدول (2-5) والصادر عن المعهد الوطني الأمريكي للمعايير [ANSI/NETA ATS-2009 Table 100.14] في حال كانت

درجة الحرارة التي أجري عندها الفحص من مصاعقات العدد خمسة وذلك للفحوصات التي تحتوي على غاز ملغوم بالزيت كما هو الحال في المحولات.

الجدول رقم (2-5)

معامل التصحيح (k_T)	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)	معامل التصحيح (k_T)	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)
11.20	55°	0.125	-10°
15.85	60°	0.180	-5°
22.40	65°	0.25	0°
31.75	70°	0.36	5°
44.70	75°	0.50	10°
63.50	80°	0.75	15°
89.789	85°	1.00	20°
127.00	90°	1.40	25°
180.00	95°	1.98	30°
254	100°	2.80	35°
259.15	105°	3.95	40°
509	110°	5.60	45°
		7.85	50°

9. تحليل نتائج الفحص

من الخوفا في حيثيات تحليل نتائج فحص مقاومة العزل للمحولات المغمورة بالزيت (Oil Immersed Transformers) وحسب تنبؤه إلى أن الزيت المتواجد داخل المحول يؤثر بدرجة كبيرة على قيمته المقومة العزل فمثلاً للمحولات ذات زيت العزل من الإسترات الطبيعية (Natural Esters) تكون ذو قيمة معاومة عزل أقل منه للمحولات المغمورة بالزيت المعدني (Mineral Oil)، ومن جهة أخرى قيمته مؤثر الإستقطاب (PI) حالة ما تكون قريبة من العدد (1) لزيت العزل الخاص بالمحولات مما يعني أن مؤثر الإستقطاب الخاص بمنتجات المحول قد يتأثر بمؤثر الإستقطاب الخاص بزيت المحول مما يحول دور الحصول على قيمته مؤثر استقطاب يعكس حالته الحقيقية لعزل ملفات المحول لذلك من الصعب وضع قيم مرجعية أو دنيا لهذا الفحص.

كما وتحدث الإشارة إلى بعض القيم المقترحة لتحليل هذا الفحص لملفات المحول والقيم الحديدية و عورب لإحراق و دعائم المنشآت التي تم التوصل إليها عملياً وحسابياً وفقاً لبعض المعايير والمراجع لعالمية حسب الأسلوب المتبع في الفحص:

9.1 ملفات المحول – Transformer Winding

لتحليل نتائج هذا الفحص لمعدات المحول وفقاً للأسلوب الفحص المُتبع يُمكن إيجاد الآتي

• قراءات الزمن القصير – Short Time Readings or Spot Test

من مُمكن تحليل نتائج فحص العاصه بهذا الأسلوب بعمل (Trend) ومقارنته بقراءات سابقه بنفس المحول كنتاج فحوصات قبول المصنعيه (Factory Acceptance Test - FAT) أو لوقوفية (Site Acceptance Test - SAT) أو نتائج الفحوصات الروتينية السابقة (Routine Test) مع سراعاً أن تكون قيمه فولتية الفحص بنفسه لفحوصات السابقه وحديه لتعيب لمقرره كم وتُمكن تحسين نتائج لفحص بهذا الأسلوب بإتباع إحدى الطرق التالية:

○ حسب الخبرة – Rule of Thumb

أوردت بعض المراجع مثل [Paul Gill, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing] أنه في حال الحصول على قيمه مساومه عزل بعد زها (1MD) سيحا أوم لكل (1kV) كيلوفولت من فولتية الفحص مصفاً إليها (1MD) يُمكن كهربية المحول (Transformer Energization) وإعداده للعمل بشكل آمن أي أنه داتم فحص محول بتطبيق فولتية ثابته (DC Voltage) مقدارها (5kV) كيلوفولت وكتب نتيجة الفحص (6MD) مدياً أراء يُعتبر هذه أقل نتيجة مُرضية وأمنه لإعادة المحول في الخدمة

○ حسابياً – Mathematically

يُمكن حساب القيم الذي هذا الفحص بتطبيق المعادله لثابته - في حال لم نصيغ الفحص عن ثلاثة أدوار معاً الواردة في المراجع [M. Horning, Transformer Maintenance Guide]

$$R_{20} = \frac{C \cdot E}{\sqrt{kVA}} \quad (2.8)$$

حيث:

R_{20} : أقل قيمة مقاومة لهذا العازل بالأوم عند درجة حرارة (20°) مئوية

E : الفولتية الاسمية للمعدات (فولتية الطور V_{ph}) بالفولت (V)

kVA : قدرة المعدات الفحصية بالكيلو فولت أمبير (kVA)

C ثابت يساوي 0.8 لمحولات الترميه عند درجه حرارة (20°) مئوية، (1.5) مع رست و (30)

بدون رست حسب (Low voltage impulse testing of power transformers, Richenbacher,)

(Alan Gregg 1976)

ن الرجوع للمعايير العالمية -- International Standards

لم ترد في المعايير الخاصة بهذا الفحص والصادرة عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) واللجنة الكهروضوئية الدولية (IEC) أي قيم دنيا يمكن الإعتماد عليها فيما يخص لفحص بهذا الأسلوب.

وللحصول على القيم الدنيا لمقاومة العازل لمحولات المغمورة بترت يمكن الإعتماد على مراجع أخرى كالدراسة الصادرة عن المجلس الدولي للأنظمة الكهربائية الكبيرة [CIGRE Guide for Transformer Maintenance 445] حيث حدد القيم المقترحة بالجدول (2-6) عند درجة الحرارة (20°) درجة مئوية

الجدول رقم (2-6)

مقاومة العزل	مستوى فولتية ملف المحول
أكثر من 1000 ميجا أوم	أقل من أو تساوي 69 كيلوفولت
أكثر من 500 ميجا أوم	أكثر من 69 كيلوفولت

كما فيما يخص المعايير الصادرة عن المعهد الوطني الأمريكي للمعيار [ANSI/NETA ATS-2009 Table 00.5] يمكن إيجاد الجدول (2-7) والتي تضم القيم الدنيا لمقاومة عزل المحولات المغمورة بترت

الجدول رقم (2-7)

أقل قيمة مقاومة عزل	مستوى فولتية ملف المحول
100 ميجا أوم	0 - 600 فولت
1000 ميجا أوم	601 - 5000 فولت
5000 ميجا أوم	أكثر من 5000 فولت

كما ويمكن إيجاد الجدول (2-8) والتي تضم القيم الدنيا لمقاومة عزل المحولات المغمورة بترت عند درجة حرارة (20°) مئوية والمُضمن في المراجع [Paul Gill, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing]

الجدول رقم (2-8)

أقل قيمة مقاومة عزل	مستوى فولتية ملف المحول
400 ميجا أوم	6.6 كيلو فولت
800 ميجا أوم	6.6 - 19 كيلو فولت
1000 ميجا أوم	22 - 45 كيلو فولت
1200 ميجا أوم	أكثر من 66 كيلو فولت

• القراءات المرتبطة بالرمل (مؤشر الإمتصاص والإستقطاب) – Time-Resistance Readings (AI & PI)

يمكن تحليل نتائج المحص بهذا الأسلوب بعمل (Trend) ومقارنته بقراءات سابقة لنفس المحول كمنح فحوصات لقنول المصنعية (Factory Acceptance Test – FAT) أو الفرعية (Site Acceptance Test – SAT) أو نتائج الفحوصات الروتينية المسبقة (Routine Test) إن وجدت، لحاول (2-9) نضم القيم للمودمية لمؤشر الإستقطاب (PI) للمحولات المعمورة بأرب حسب المعايير خاصة معها مهدي الكهراء والإلكترونيات [IEEE, C57 152-2013]

الجدول رقم (2-9)

حالة العزل	مؤشر الإستقطاب Polarization Index - PI
خطير	أقل من 1
ضعيف	1 - 1.1
متوسط (يحتاج لبحث)	1.1 - 1.25
مقبول	1.25 - 2
جيد	أكثر من 2

وكا في أورد كتب التعليمات (Manual) الخاص بجهاز فحص اعازية مـصنع بواسطه (MEGGER) لجدول (2-10) للقيم المودمية لقيم مؤشري الإستقطاب والإمتصاص (AI & PI) بشكل عام

الجدول رقم (2-10)

حالة العزل	مؤشر الإمتصاص Absorption Index - AI	مؤشر الإستقطاب Polarization Index - PI
خطير	أقل من 1.25	أقل من 1
متوسط (يحتاج لبحث)	1.25 - 1.4	1 - 2
حد	1.4 - 1.6	2 - 4
ممتاز	أكثر من 1.6	أكثر من 4

• قراءات المقاومة المرتبطة بالفولتية - Step-voltage Readings SV

يمكن تحليل نتائج المحص بهذا الأسلوب وذلك برسم العلاقة بين قيمة مقاومة عزل ومسوى الفولتية كما هو مبين بالشكل [(2-6) (ب)]، حيث أن إنخفاض قيمة مقاومة العزل عند الإرتفاع بالفولتية بقدر (25%) بالمئة من شأنه الدلالة على وجود عطل في هذا العازل كعدم هذا العازل أو وجود شقوق أو فجوات بداخله [M. Horning, Transformer Maintenance Guide]

● قراءات تيار تفريغ العازل - Re-absorption Current or Dielectric Discharge DD

يُمكن تحليل نتائج فحص هذا الأسلوب بالرجوع إلى الجدول (2-11) والمُضمّن في كُتيب التعليمات (Manual) لحاصر بجهد فحص العازلة المُحصص بواسطة شركة (MEGGER)

الجدول رقم (2-11)

حالة العزل	تفريغ العازل – Dielectric Discharge DD
خطير	أكثر من 7
ضعيف	7 - 4
متوسط (يحتاج لبحث)	4 - 2
جيد	أقل من 2
مثالي	0

9.2 عوازل الإحتراق / الجُلب – Bushings

بطراً للإختلاف لتصميم الخاصة بعوازل إحتراق المحولات (Transformer Bushing) فمنها ما يكون مملوء بالزيت ومنها ما هو هوائي ومنها ما هو جاف، وغيرها من التصميم، لذلك لا توجد قيم دنيا مُنعى عليها لفحص مقاومة العزل الخاصة بهذه النوع من العوازل، إلا أنه بالرجوع إلى بعض الدراسات والمعايير الصادرة عن [Bureau of Reclamation, Testing and Maintenance of HV Bushings Volume 3-2] سجد الاتي " إذا تم فحص عزل إحتراق (Bushings) بتصديق فولتية دونه متدورها (2500V) وكانت قيمة مقاومة العزل مرتفعة فإن ذلك لا يعني قطعا أن العزل بحالة ممتازة، وفي حال الحصول على قيمة مقاومة عزل أقل من (20GΩ) يجب أوم فإن هذا العزل بحاجة لبحث تأكد من سلامته"

9.3 القلب الحديدي – Iron Core

لتحسين نتائج هذا الفحص الخاصة بالقلب الحديدي و بالرجوع إلى المعايير و مراجع العالمية يُمكن إيجاد الاتي:

حسب معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013] يُمكن إيجاد الجدول (2-12) فيما يخص القيم الدنيا لهذا الفحص و الخاصة بالقلب الحديدي.

أما فيما يخص المعايير الصادرة عن المعهد الوطني الأمريكي للمقياس [ANSI/NETA ATS-2009] فقد اقترحت مقادير نتيجة فحص مقاومة العزل الخاصة بالقلب الحديدي مع القيمة القصصية (FAT) للإضافة إلى التأكد من عدم الحصول على قيمة أقل من (1MΩ) مع أوم كنسبة لهذا الفحص عند تطبيق (500VDC) فولت.

الجدول رقم {2-12}

نوع المحول	قيمة مقاومة العزل للقلب	حالة العزل
محول جديد	أكثر من 500 ميجا أوم	طبيعي أو في حال كانت قيمته أقل من 500 ميجا أوم يجب الفواصل مع مُصنِّع المحول
محول قديم	أكبر من 100 ميجا أوم	طبيعي
	من 10 إلى 100 ميجا أوم	دلالة على تدهور إعادة معاربه
	أقل من 10 ميجا أوم	بحاجة لتحديث توصيل مع المُصنِّع

وحسب الدرسمة الصادرة عن المجلس الدولي لأنظمة الكهرباء الكيرة [CIGRE Guide for Transformer Maintenance 445]، فإنه في حال الحصول على مقاومة عزل أكبر من أو تساوي (10MΩ) ميجا أوم فإنه يعتبر مقبولة، أما إذا كانت مقاومة العزل أقل من (100kΩ) كيلو أوم فإنه يُعتبر مؤشر على فشل نظام العزل الخاص بالقلب الحديدي.

وقد أوردت بعض المراجع مثل كتاب [M. Horning, Transformer Maintenance Guide] طريقة لتحليل لنتائج اختبار مقاومة العزل الخاص بالقلب الحديدي "في حال الحصول على قيمة مقاومة عزل للقلب الحديدي من (10 - 20) أوم فإن ذلك مؤشر على وجود تأريض مباشر أو ما يُسمى بالتأريض الصلب (Solid Ground) ويجب إصلاح هذا العطل، أما في حال الحصول على مقاومة عزل بلسب الحديدي قريبة من (2000 - 4000) أوم فإن ذلك مؤشر على تأريض القلب ذو مقاومة مرتفعة غير مرغوب به (High resistance ground) أو ما يُسمى بالـ (Inadvertent ground) ويمكن إجراء بعض التحول لموقعية لتحديد من هذه المشكلة والمذكورة سابقاً في هذا الفصل".

10. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

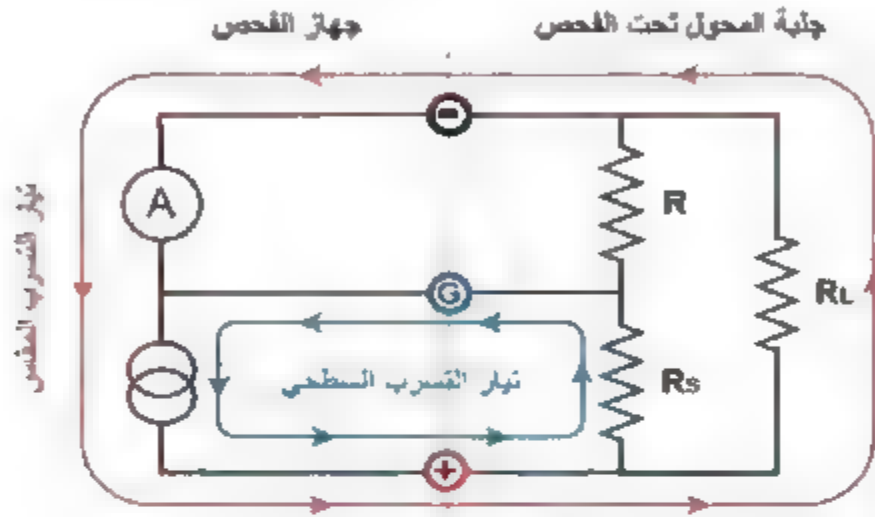
هناك عدة عوامل مؤثرة على نتيجة هذا الفحص والتي لا تُد من الإحداية بها من أحد، حيث أن تأثيرها أو لتخفيف منه على الأقل عند إجراء هذا الفحص، ومن هذه العوامل:

10.1 نظافة سطح العازل – Insulation Material Surface Condition

تُعتبر الحالة الخارجية لمادة العازلة أو كما يُمكن تسميتها بالنظافة الخارجية سطح عازل من أهم العوامل التي تؤثر على قيمة هذا الفحص، حيث أنه بإرتداد نسبة تلوث سطح المادة عازلة تزداد قيمة التيار التسريبي عبر هذا السطح مما يؤثر بشكل مباشر على قيمة مقاومة العزل المُقاسة كما تم شرحه سابقاً وكما هو معلوم أن هناك نوعين من التلوثات أحدهم موصّل لتيار الكهرباء في طبيعته كالكرتون أو لرماد ولاخر غير موصّل لتيار الكهرباء في طبيعته كالعفار والملح مثلاً ولكن مع مرور حيا تاريف أو الماء فإنها تُصبح موصلة لتيار الكهرباء في إلى حد ما مما يُسهل تكون تدر التسرب اسطحي سابق ليكر

وللتخلص من تأثير هذا العامل يجب تنظيف سطح المادة لعزله قبل الفحص وكذلك استخدام صفد (Guard) الموجود بجهاز الفحص كما هو مبين في الشكل (2-14) ولدي بوضوح كيفية قياس مقاومة لعزل عازل إحتراق محول (Transformer bushing) مع مراعاة استخدام صفد (Guard)

وبوضح الشكل (2-17) الدائرة المكافئة لبرصه فحص مقاومة لعزل لعزل إحتراق محول (Transformer Bushing) أظهريه في الشكل (2-14) مع مرعاة استخدام صفد (Guard) حيث (R_g) تمثل مقاومة سطح العازل.



الشكل رقم (2-17)

10.2 الرطوبة – Moisture

الرطوبة (قطرات المدي) فتشكله على سطح المادة العازلة من شأنها زيادة تيار التسرب السطحي مما يؤدي إلى انخفاض قيمة مقاومة العزل. لذلك يُفضل عدم إجراء هذا الفحص عند درجات حرارة جوية مُحيطه دون درجة حرارة تكون قطرات المدي (Dew point temperature)

10.3 درجة حرارة العازل – Insulation Material Temperature

تأثير درجة الحرارة على قيمة المقاومة يختلف المعادن عنه للمواد غير المعدنية، حيث أن ارتفاع درجة حرره المواد المعدنية يؤدي إلى ما يُسمى بالتهيج الحراري (Thermal agitation) والذي بدوره يؤدي إلى انخفاض متوسط المسار الحر حركة الإلكترونات ونتيجة لذلك انخفاض حركة الإلكترونات الحره مما يزيد من مقاومة المادة المعدنية، أما فيما يخص المواد العازلة الجيدة فإن الارتفاع في درجة الحرارة يقوم بتزويد المادة بطاقة حرارية (Thermal energy) من شأنها زيادة حركته اشحنه (Charge carriers) مما يقلل من مقاومة المادة العازلة على العكس المادة المعدنية

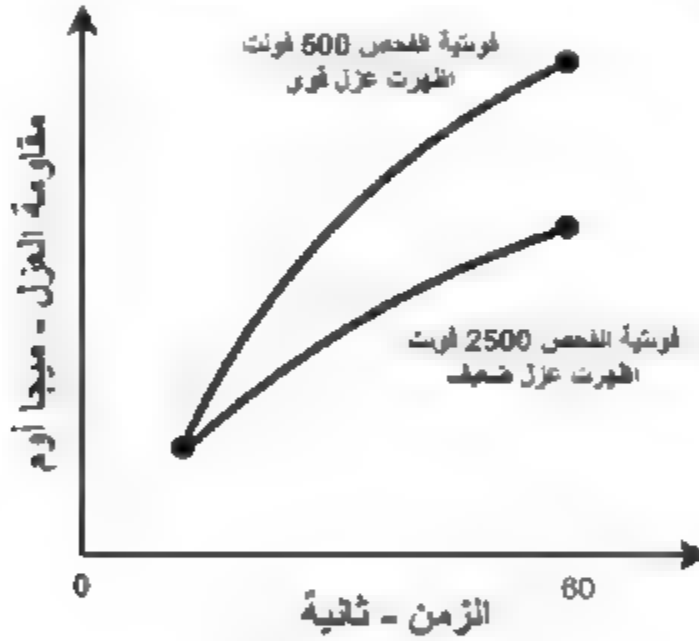
ومن الجدير بالذكر أن درجة حرارة المادة العازلة تؤثر على قيمة مقاومة العزل (IR) أو كما تُسمى (Spot Test) ولا تؤثر على قيمة مؤشر الإصصاص و الإسقطاب (PI و AI) للنسب المذكور سابقاً

لذلك لا يُصحّح بعض هذا المحص في درجة حرارة جو محيط (Ambient temperature) دون درجة حرارة تكون فطرت المدى (Dewpoint temperature)، حيث أنه في حالة وجود شق (Crack) في سطح المادة، عازله وكان هناك ماء في هذا الشق فإن الماء تحت درجات تكون فطرات المدى يكون قد تحول لحليب، وهذا الحليب تحسّث خصائصه تماماً عن الماء وأهمها فقدان الموصلية الكهربائية إلى حدٍ ما، مما يعني ظهور سيجة فحص مقاومة عزل جيدة ولا يعكس الحالة الحقيقية بمادة عازله

10.4 مقدار فولتية الفحص – Test Voltage Level

يمكن ملاحظته إختلاف في قيمه مع دودة امادة العازله سيجة لإختلاف فولتية الفحص كما هو الحال في أسلوب الفحص (SV)، حيث من الممكن أن تنخفض قيمة مقاومة العازل بشدة بزيادة فولتية الفحص كما هو مبين في الشكل (2-18).

في هذه الحالة ومع ارتفاع فولتية الفحص يُمكن قُبول لإختلاف بسيط في قيمة هيوط المقاومة، أما إذا كان لإختلاف كبير أي أكبر من (25%) بالمئة فإنه يدل على عزل ضعيف



الشكل رقم (2-18)

10.5 الشحنات المخزنة في الملفات – Stored Charge on Windings

تدّثر قيمة مقاومة العزل دقيقة للشحنات المخزنة في سعة المحول خاصة بعد فحص مقاومة الملفات (Winding Resistance Measurement - WRM) وهو ما يُسمى تأثير الذاكرة للعزل (Memory Effect)، لذلك يجب تفريغ الملفات من الشحنات المتبقية قبل البدء بالفحص وذلك عن طريق توصيل ملفات هذه رمية لا تغل عن أربعة أضعاف المدة الرسمية لشحنها (منه فحص مقاومة الملفات WRM) مثلاً وللمعلومات أكثر حول هذا الموضوع يُمكن قراءة الفقرة الخاصة بتفريغ هذه الشحنات في آخر الفصل

11. فحوصات إضافية داخمة

تعتبر المحولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية لما لها من دور في ديمومة سير العمل الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة جميعها بالإضافة إلى تكلفتها العادية المرتفعة، لذلك لا يمكن الاعتماد على فحص فحص واحد لتقييم حالة المحول أثناء بعض الإجراءات التصحيحية لهذا المحول، بل يجب عمل فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم اكتشافه عنه في فحص لأول ونجدد نوع العطل بالصيغ ثم بعد ذلك تُصدر العمل لإجراء التصحيحي اللازم لهذا المحول والذي قد يتطلب المواضع مع مُصنِّع هذا المحول

11.1 الملفات

عند إجراء هذا الفحص على ملفات المحول وفي حال الحصول على قيمة (Insulation Resistance - IR) أو (Polarization Index - PI) منخفضة جداً مما يعني وجود عطل أرضي احتمالي أو وجود قصر (short circuit) بين الملفات أو وجود ما يُسمى بالـ (Carbon Tracking)، لا تُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى لمؤكد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحية ومنها فحص (Polarization and Depolarization Current - PDC) و فحص (Frequency Domain Spectroscopy - FDS) بالإضافة إلى فحص بعض المعايير المتعددة أو القدرة (Dissipation/Power Factor - DF/PF) و فحص الموثوقية المُستوحاة (Induced Voltage Test)، كما ويُصبح أيضاً قياس مستوى الرطوبة في زيت العزل للمحول (Water content or Moisture)

11.2 عوازل الإختراف

بالنسبة عوازل الإختراف (Transformer Bushings) لا يُعد فحص مقاومة العازل من الفحوصات التي من شأنها الكشف عن الأعطال بشكل مُبكر، مما يعني أن فحص هذا الفحص مؤشر على وجود عطل في مرحلته المتقدمة وبحاج من إجراءات تصحيحية فورية، لذلك فيما يخص عوازل الإختراف (Bushings) هناك الكثير من الفحوصات التي من شأنها الكشف عن حالتها بشكل أكثر دقة كفحص معامل التردد أو القدرة عند التردد الإسمي (Dissipation/Power Factor @ line Frequency - DF/PF) وفحص الفواصل (Capacitance - C) وفحص (Dissipation/Power Factor tip-up) وفحص (Variable Frequency Dissipation/Power Factor) و فحص (Dielectric Frequency Response - DFR) وفحص التفريغ الجزئي (Partial Discharge - PD)، كما ويُصبح أيضاً إجراء فحص الغازات الذائبة في زيت عازل الإختراف (Dissolved Gases Analysis - DGA)

11.3 القلب الحديدي

عند إجراء هذا فحص على قلب حديدي وفي حال الحصول على قيمة (Insulation Resistance - IR) منخفضة جداً مما يعني وجود عطل أرضي لهذا القلب الحديدي أو كما ذكر سابقاً هناك نقطة تأريض أخرى، هناك لا تُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى لمؤكد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحية ومنها فحص معامل التردد أو القدرة (Dissipation/Power Factor -

12. تفريغ الملفات وإزالة تَمَغْنُط القلب الحديدي

عادةً بعد فحص مقاومة العزل (Insulation Resistance - IR) وفحص مقاومة ملفات (Winding Resistance Measurement - WRM) أي عموماً بعد الفحوصات التي تتم من خلالها تطبيق فوشة تسي (DC Voltage) والتي دورها تقوم بشحن ملفات المحول (Winding Trapped Charge) وكذلك تؤدي إلى تَمَغْنُط القلب الحديدي للمحول أو ما يُسمى بالـ (Core Magnetization)، فإنه من الضروري تفريغ شحنة الملفات (Winding Discharge) وكذلك إزالة تَمَغْنُط القلب الحديدي (Core De-magnetization) بعد الانتهاء من فحص وفش كهربية المحول (Transformer energization) أو إجراء فحوصات أخرى وذلك تجنباً لحدوث الظواهر التالية:

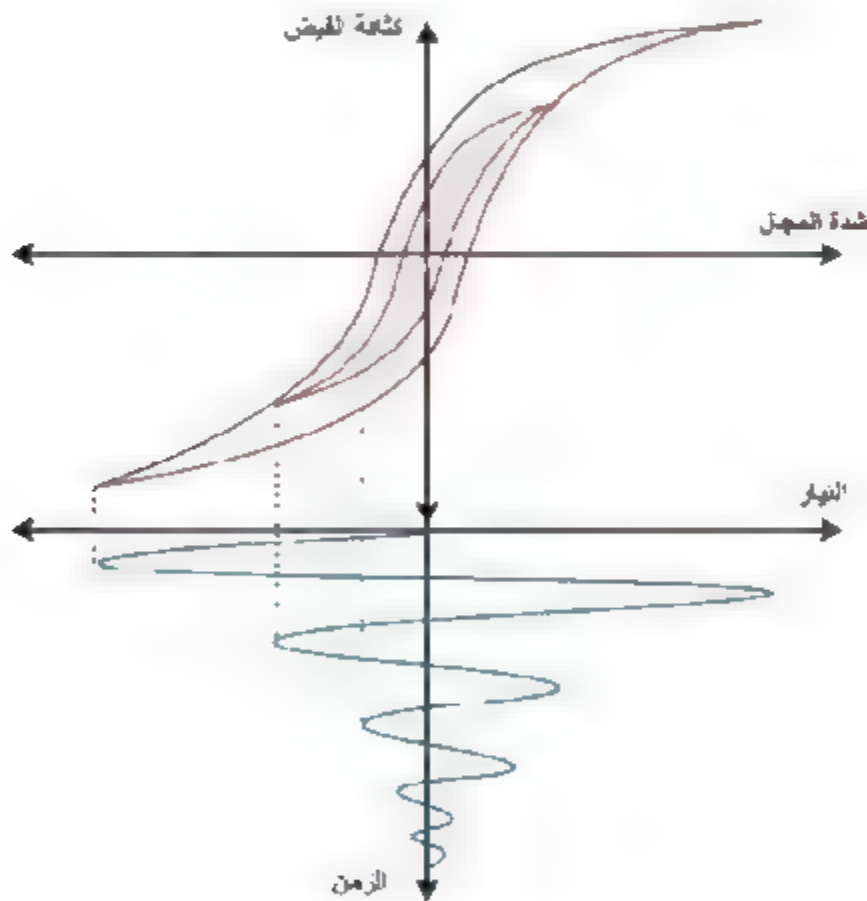
- حدوث صدمة حبية (Induction Kickback) ناتجة عن الطاقة المخزنة في مجاثة ملفات المحول ($E = \frac{1}{2} I^2 L$) والتي قد تطوي على مخاطر من شأنها تأثير على الأشخاص و المعدات.
- ظهور تدرت عالية غير اعتمادية (High Inrush Current) عند كهربية المحول (Transformer Energization).
- ظهور نتائج غير دقيقة عند تطبيق الفحوصات التالية:
 - الإستجابة الترددية المتساخرات الردة Frequency Response of stray losses FRSL
 - نسبة تواتر المحول Transformer Turns Ratio TTR
 - تفاعل تسرب Transformer Leakage Reactance
 - تدر التهيح Transformer Excitation Current
 - تحليل الإستجابة الترددية المسحي - Sweep Frequency Response Analysis

لذلك يجب تفريغ أضافه مخبرية في الملفات (Winding Discharge) وذلك عن طريق قصر (Short circuit) أطراف ملفات المحول ووصلها بالأرض عبر رصبة ماسية ويُتَكرَّر أربعة أضعاف من تطبيق لفواشيته التسي على أصفاف أثناء الفحص أو قُرابة 30 ثانية كما هو مذكور في بعض المراجع و معايير، وعادةً أجهزة الفحص الحديثة و المُصنَّعة بواسطة شركة (MEGGER, OMICRON & METREL) تقوم بالتفريغ تلقائياً بعد الإنتهاء من إجراء الفحص

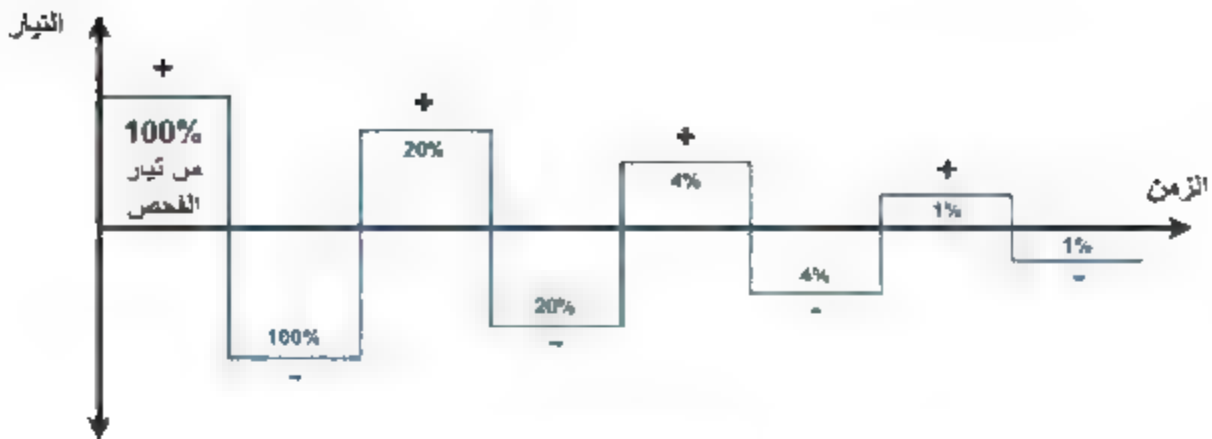
أما فيما يخص إزالة تَمَغْنُط القلب الحديدي للمحول (Core De-magnetization) فإنه يتم بعده طُرق وهي:

- طريقة التسخين. في هذه الطريقة يتم تسخين المادة المراد إزالته بمعصية لدرجة حرارة فوق درجة حرره كيربي (Curie Temperature)، وهي درجة الحرارة التي تسقط عندها أمانه خصائصها المعصبية فعلاً لحديد المُكوِّن للقلب الحديدي تساوي (770°) درجة مئوية ولكن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها في المحولات نظراً لخطورتها على المادة المعزلة

- طريقة حقن تيار متناقص: في هذه الطريقة يتم حقن تيار متناقص في الملفات حتى وصول إلى حده عدم المعصية ويتم ذلك بصريقتين وهما طريقته تيار لمتردد (AC) كما هو موضح في الشكل (2-19) وهي طريقة قد ينطوي على بعض المخاطر فيما يخص السلامة العامة نظراً لانخفاض قيمة مقاومة المساقصة، وعادة ما يتم إجراء هذه الطريقة في أحجرات أجهزة التآكل وتادراً ما يتم عصف هذه الطريقة في الموقع، لذلك يتم اللجوء لطريقته التيار الثابت (DC) مررد لقطبية (Alternating polarities) والمتناقص مع الزمن إلى حين لتخلص من تجمُّط القلب الحديدي للمحول كما هو موضح بالشكل (2-20) وذلك حسب معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013] حيث أن هذه الطريقة لا تحتاج لقولتيه مرتفعة كصيرتها بلسر التردد سابق الذكر. وعادةً أجهزة الفصل تحيئته مثل (TESTRAND by OMICRON) تقوم بإزالة تجمُّط القلب الحديدي (De-magnetization) نهائياً و تدوياً بعد الإنتهاء من إجراء الصوصات إلى بعمد نططبق فولتية ثابتة على ملفات المحول كتحص بقومته الملفات (WRM) كما هو مبين بالملحق (3-5) في بنه فصل فصل بقومته الملفات (WRM) التالي



لشكل رقم (2-19)



الشكل رقم (2-20)

13. أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية

13.1 المثال الأول: الشكل (2-21) يُبين قيم فحص مقاومة عزل (Insulation Resistance) مُصنعي (FAT) محوّل ثلاثي الأطوار بُدائي المُلحقات (Three Phase Two Winding) مُحصول بطريقتي (YND11) ذو مُعدّل حثّة من نوع (DETC و OCTC).

Acceptance test certificates							
Customer		ALKON WELDING MEASUREMENT				Page No.	
Standard		IEC 60076-1				Revision No.	
Rated power (VA)		400				Inspector Name	
Weather		Indoor Closed Place					
Ambient temperature		20 °C					
Relative humidity		40.0 %					
Direct temperature		20 °C					
MEASUREMENTS		TEST VOLTAGE (kV)	at 15 seconds (MΩ)	at 30 seconds (MΩ)	at 45 seconds (MΩ)	at 60 seconds (MΩ)	at 180 seconds (MΩ)
HV TANK	Lv Guarded	5	40000	40000	43000	40000	00
HV TANK	ALN Guarded	5	70000	250000	40000	47000	294000
Lv TANK	Hv Guarded	5	25000	30000	42000	49000	55000
CORE TANK			7000	8000	12000	6000	NA

الشكل رقم (2-21)

13.2 المثال الثاني: لشكل (2-22) يُعَمِّد قيمة فحص مقاومة عزل (Insulation Resistance) قصبي (FAT) لمحور ثلاثي، لأحور ثلاثي الملفاب (Three Phase Tertiary Winding)

Measurement of d.c. insulation resistance between each winding to earth and between windings					
Relative humidity 33%		At atmospheric pressure 0.095MPa		Oil temperature 23.1°C	
Measured sequence and data					
Tested winding	Earthed parts	Insulation resistance (dc, MO)		Absorption ratio	Test voltage V
		R ₁	R ₂		
HV	Other winding, core, frame and tank enclosure	1500	2620	1.75	5000
LV		1840	4050	2.20	5000
LV2		2100	3500	1.67	5000
HV + LV1 + LV2		2050	3450	1.68	5000
Measured sequence and data between windings					
Tested winding	Earthed parts	Insulation resistance (dc, MO)		Absorption ratio	Test voltage V
		R ₁₂	R ₂₃		
HV to LV1	Core, frame and tank enclosure	1900	4180	2.20	5000
LV1 to LV2		2700	5070	2.10	5000
LV1 to LV2		4100	7380	1.80	5000
Remarks: Measure values at the test voltage 5000V					
core and frame insulation for liquid immersed transformers					
Tested winding	Earthed parts	Insulation resistance values of R ₁₂ MO		Test voltage V	
		Typical			
Core	Winding core and tank enclosure	>1000		2500	
Frame	Winding core and tank enclosure	>1000		2500	
Remarks: Measure values at the test voltage 2500V					

الشكل رقم (2-22)

الملحق (2-1)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط ، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز. هذا وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة العزل باستخدام جهاز

Insulation Tester MIT 1025 10kV by MEGGER



الشكل رقم (2-1-1)

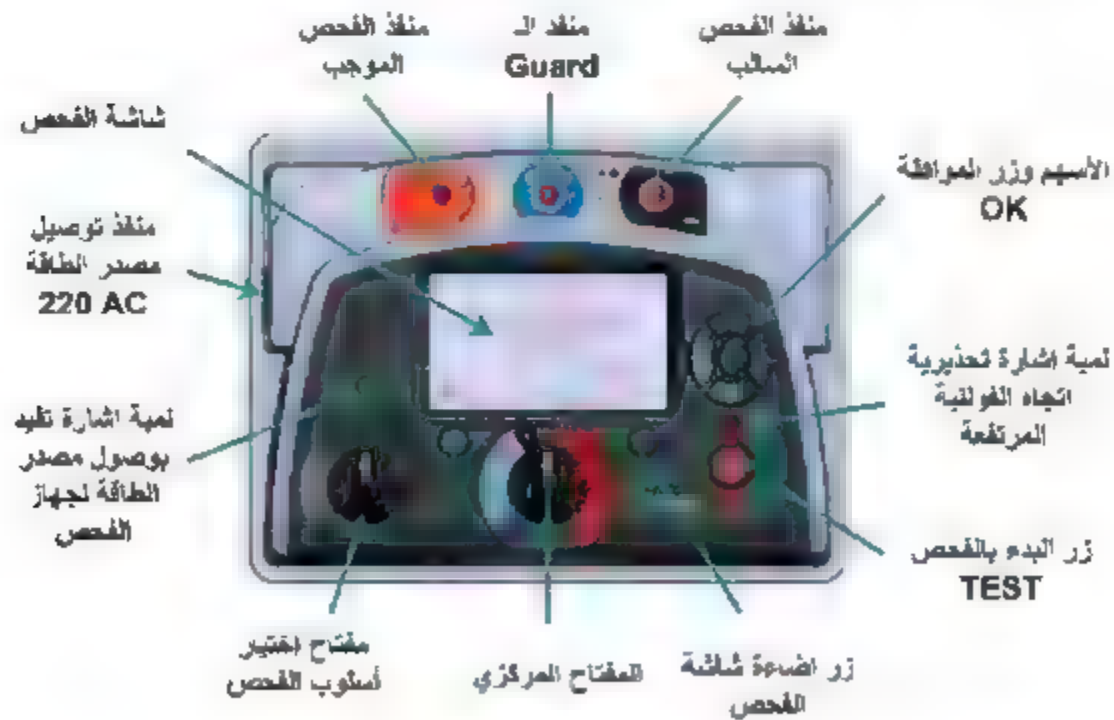
• مواصفات الجهاز: حسب (MIT 1025 manual)

- فولتية المدخل الاسمية : 90-264 V rms, 47-63 Hz, 100VA
- نطاق فولتية خرج : 500, 1000, 2500, 5000, 10000 VDC
- دقة فولتية الفحص : +4%, -0%, ±10% V nominal test voltage @ 1GΩ load
- نطاق اعطومات الفحص : (10 kΩ - 15 TΩ @ 5kV), (10 kΩ - 20 TΩ @ 10kV)
- أساسيات الفحص : IR, IR(t), DAR, PI, SV, DD, Ramp test
- دقة القياسات من 1MΩ إلى : (±5% ≤ 2TΩ), (±20% to 20TΩ)

IP65 (Lid closed), IP40 (Lid open)	○ درجة حماه IP
10 lb. (4.5 kg)	○ وزن الجهاز
-4° F to 122° F (-20° C to 50° C) RH to 90%, Non	○ بيئة تشغيلية المحيطة
	condensing
-13° F to 149° F (-25° C to 65° C) RH to 95%, Non	○ بيئة تخزينية المحيطة
	condensing

● خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. لتأكد من نصيغ الحصوات (7.1 إلى 7.8) الواردة في فقرة خطوات الفحص من فصلي فحص مقاومة لعزل (IR).
2. التأكد من أن الدائرة الفراد فحوصها غير مكهربة و عدم وجود احتمالية لكهربتها أثناء الفحص.
3. لا تلمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده إلا بعد التأكد من عدم وجود فولتية وأن الملفات تم تفريغها من الشحنات تماماً.
4. لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذا Crocodile Clips، في حالة جيدة وغير متسحقة ولا تعاني من أية أضرار فيزيائية كالشقوق أو انكسور لعزل الخاص بها.
5. لتأكد من أن جهاز فحص الجهد المعايرة (Calibrated).
6. قبل البدء بفحص يُفحص التعرف على أجزاء الوجه الرئيسي للجهاز من شاشة ومحدد وأزرار ومفاتيح تحكم ولعبات إشاره كما هو مبين بالشكل (2-1-2)



الشكل رقم (2-1-2)

7. إحصار جهاز الفحص إلى الموقع و توصيل الأسلاك الخاصة به على النحو التالي

7.1 التأكد من أن المفتاح المركزي لجهاز الفحص على وضعية (OFF).

7.2 توصيل جهاز الفحص بالمصدر الكهربائي (Power cable).

7.3 توصيل اسلاك الأحمر بالمكان المخصص له على الجهاز (+L) سلك الفحص الموجب

7.4 توصيل اسلاك الأزرق بالمكان المخصص له على الجهاز (Guard - G) سلك الفحص لأرضي

7.5 توصيل اسلاك الأسود بالمكان المخصص له على الجهاز (-E) سلك الفحص لسالب

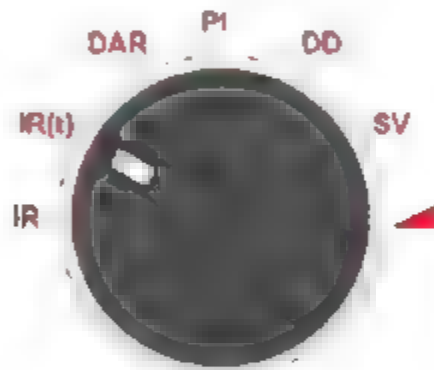
8. توصيل أسلاك جهاز الفحص (Test Leads) بأطراف لمحول وذلك بالرجوع إلى الحدوث (2-2) و

(2-3) وكذلك الأشكال (2-9) إلى (2-16) من فصل فحص مقاومة العزل و إلى بعد إحصار

التوصيلة المناسبة

9. اختيار أساليب الفحص المناسب وذلك من خلال تعير وضعية المفتاح الموضح في الشكل (2-1-3)

(3)



شكل رقم (2-1-3)

حيث يمكننا هذا الجهاز من القيام بالفحص وفقاً للأساليب التالية.

9 1 الأسلوب الأول (IR(t)) قراءات الزمن القصير (Spot Test)؛ بعد إختيار هذا الاسلوب تظهر على

الشاشة مدة الفحص وعادة ما يكون دقيقتيه واحد ويمكن تعيره عبر اسهم العلوي واسهمي ثم

الضغط على زر الموافقة (OK)

9 2 الأسلوب الثاني (Dielectric Absorption Ratio DAR or AI)؛ بعد إختيار هذا الأسلوب وهو

ناتج قسمة (t2/t1) يظهر على الشاشة الزمن (t1) ثم (t2) وعادة ما يحد ضبط قيمة (t1) لهذا

الأسلوب (30 sec) ثنيه و الزمن (t2) على (1 min) دقيقتيه و من ثم الضغط على زر موافقه

(OK)

9.3 الأسلوب الثالث (Polarization Index PI): بعد إختيار هذا الأسلوب وهو مسح قسمه ($t2/t1$) يظهر على الشاشة الرمز ($t1$) ثم ($t2$) وعادة ما يجب ضبط قيمة ($t1$) لهذا الأسلوب (1 min) دقيقة و الرمز ($t2$) على (10 min) دقائق ومن ثم الضغط على زر الموافقة (OK)

9.4 الأسلوب الرابع (Dielectric Discharge DD): بعد إختيار هذا الأسلوب و الذي يعتمد على قياس التيار في المقياس الأولي بعد تطبيق العولتية الثابتة على لمدة المعالجة برسم مستعرض ($t1$) و الذي عادة ما يتم ضبطه ليكون (30 min) دقيقة ومن ثم الضغط على زر الموافقة (OK)

9.5 الأسلوب الخامس (Step Voltage SV): في هذا الفحص يقوم جهاز لفحص بتطبيق العولتية بالتدرج وعادة ما يكون زمن هذا الفحص (5 min) دقائق ويمكن تغييرها

مثال: إذا أردنا عمل هذا الفحص وفيما نضبط الرمز على (5 min) دقائق و العولتية الفحص هي (5 kV) كيلوفولت فإن جهاز الفحص سيقود بحسن (1 kV) كيلوفولت لمدة دقيقة ثم يرفع العولتية إلى (2 kV) كيلوفولت مدة دقيقة وهكذا إلى أن يصل إلى (5 kV) كيلوفولت بعد (5 min) دقائق

9.6 الأسلوب السادس (Ramp Voltage): في هذا الفحص يقوم جهاز الفحص بتطبيق العولتية بالتدرج على شكل (Ramp) وليس على شكل درجات كما هو الحال بالأسلوب السابق

10 إختيار نوعية الفحص المناسبة وذلك من خلال تغيير وصيغة المستطاح المركزي المبين في الشكل (2-1-4)



الشكل رقم (2-1-4)

11. بدء الفحص (تطبيق العولتية) وذلك بالضغط مطووعاً على زر بدء الفحص (Test) الظاهرة في الشكل (2-1-5) لحين بدء التحرك لحقق العولتية، حيث تبدأ ألسنة الإبرة الحمراء المتحركة في الشكل (2-1-2) بالتذبذب (Blinking) طيلة مدة تطبيق العولتية على المحول



الشكل رقم (2-1-5)

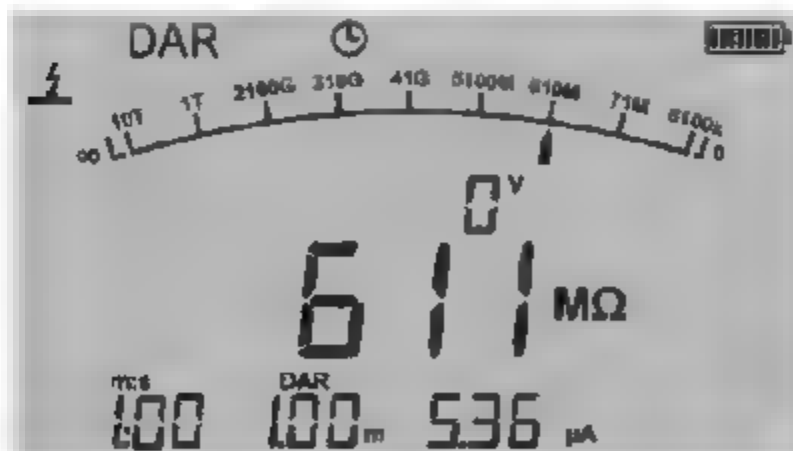
12. بعد انتهاء مدة الفحص يظهر النتيجة على الشاشة و يوم جهاز الفحص تلقائياً يعبر للطاقه المخزنة في المنفذ

الشكل (2-1-6) تبين شاشة النتائج بعد إنتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (IR) أو (Spot Test)



الشكل رقم (2-1-6)

الشكل (2-1-7) تبين شاشة النتائج بعد إنتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (DAR)



الشكل رقم (2-1-7)

الشكل (2-1-8) يُبين شاشة النتائج بعد انتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (PI)



الشكل رقم (2-1-8)

الشكل (2-1-9) يُبين شاشة نتائج بعد انتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (DD).



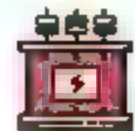
الشكل رقم (2-1-9)

الشكل (2-1-10) يُبين شاشة النتائج بعد انتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (SV)



الشكل رقم (2-1-10)

تحذير: وفي حال أردت إيقاف الفحص (حقن الفولتية) فس إنهاء وقت الفحص لأي سبب من الأسباب تقوم بالضغط على زر فحص (TEST).



الملحق (2-2)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط ، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جـ_____ دأ وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة العزل باستخدام جهاز

TeraOhmXA MI 3210 10kV by METREL



الشكل رقم (2-2-1)

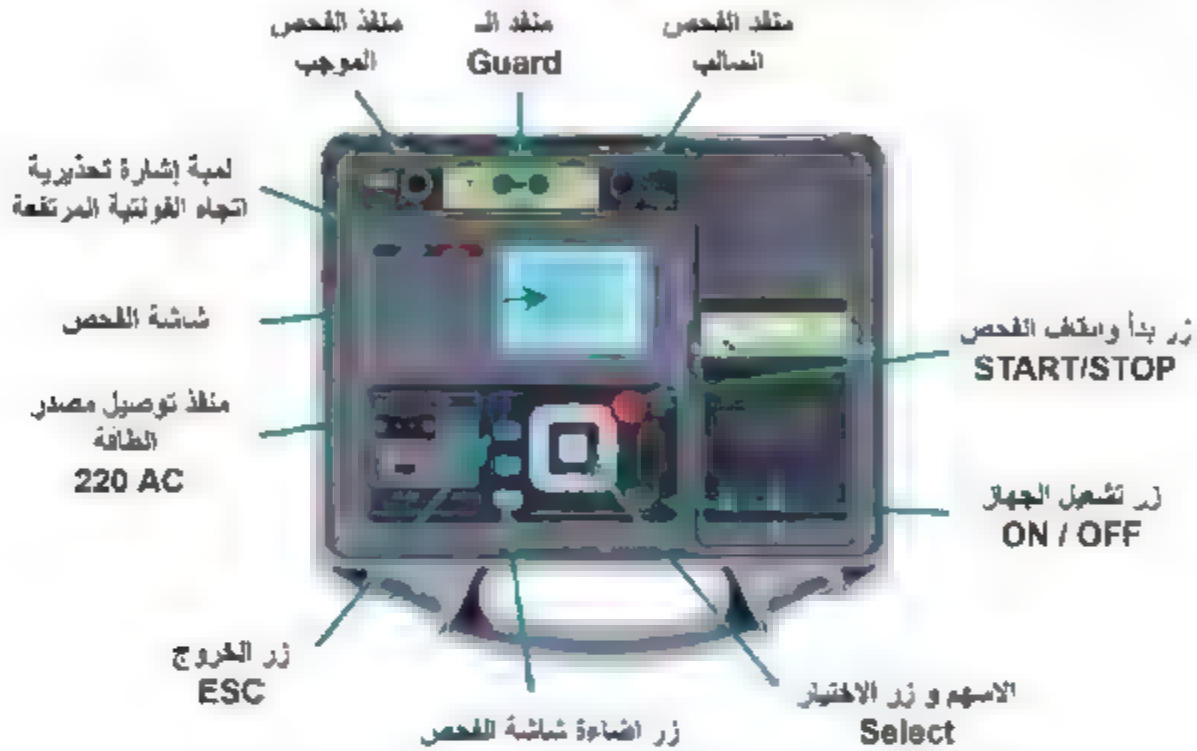
• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. لتأكد من تصحيح الخطوات (7.1 إلى 7.8) الواردة في فقره خطوات الفحص من فصل فحص مقاومة لعزل
2. لتأكد من أن الدائرة الفراد فحصها غير مكهرنه و عدم وجود احتماليه لكهرنتها أثناء الفحص.
3. لا تقم بلمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده إلا بعد التأكد من عدم وجود فولتية وأن الملعب تم تفريغها من الشحنات تماماً

4. لتأكد من أن أسلاك توصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكودك الـ (Crocodile Clips) في حالة جيدة وغير منسخة ولا تُعاني من أية أضرار فيزيائية كالشقوق أو تكسور للعزل الخاص بها.

5. التأكد من أن جهاز الفحص المُراد استخدامه مُعاير (Calibrated).

6. قبل البدء بفحص يُعَضَّ التعرف على أجزاء الوجه الرئيسي للجهاز من شاشته ومفاتيح وأزرار ومفتيح تحكم ولعبات إشارة كما هو مبين بالشكل (2-2-2)



الشكل رقم (2-2-2)

7. فحص جهاز الفحص إلى الموقع وتوصيل الأسلاك الخاصة به على النحو الذي

7.1 توصيل جهاز الفحص بالمصدر الكهربائي (Power cable).

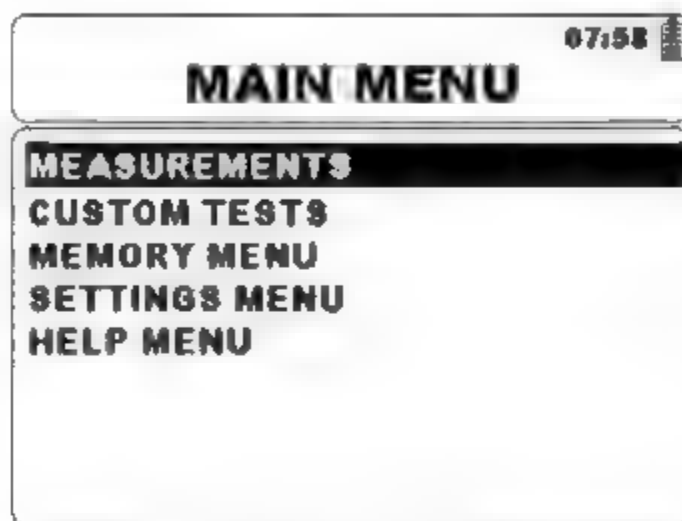
7.2 توصيل سلك الأصفر والمُشار إليه بمقدمة حمراء اللون بامكان المخصص له على الجهاز (+Rx) منفذ الفحص الموجب

7.3 توصيل سلك الأخضر بامكان المخصص له على الجهاز (Guard - G) منفذ الفحص الأخضر.

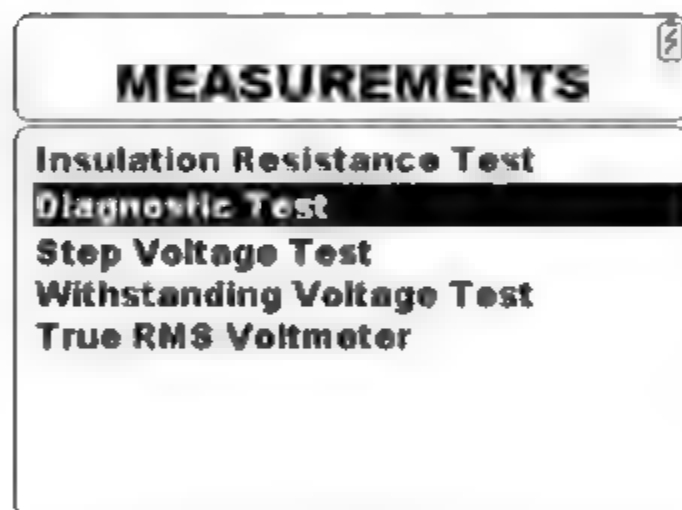
7.4 توصيل سلك الأصفر والمُشار إليه بمقدمة سوداء بامكان المخصص له على الجهاز (-Rx) منفذ الفحص السالب

8. توصيل أسلاك جهاز الفحص (Test Leads) بأنظر في لمحول وذلك بالرجوع إلى الجدول (2-2) و (2-3) وكودك الأشكال (2-9) إلى (2-16) من فصل فحص مقاومة العزل وذلك بعد إخراج الموصلة المناسبة

9. تشغيل الجهاز لتظهر القائمة الرئيسية الممننة في الشكل (2-2-3) واختار قياسات (Measurements) وذلك بتحديد خيار الأسهم ثم اضغط على زر إختيار (Select) للانتقال لنافذة قياسات (Measurements) والممننة في الشكل (2-2-4)

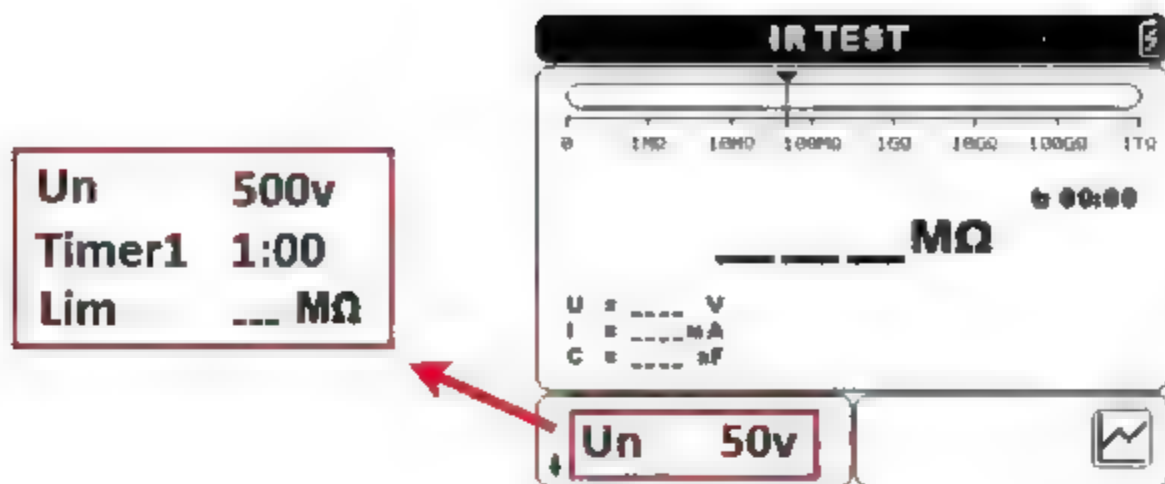


الشكل رقم (2-2-3)



الشكل رقم (2-2-4)

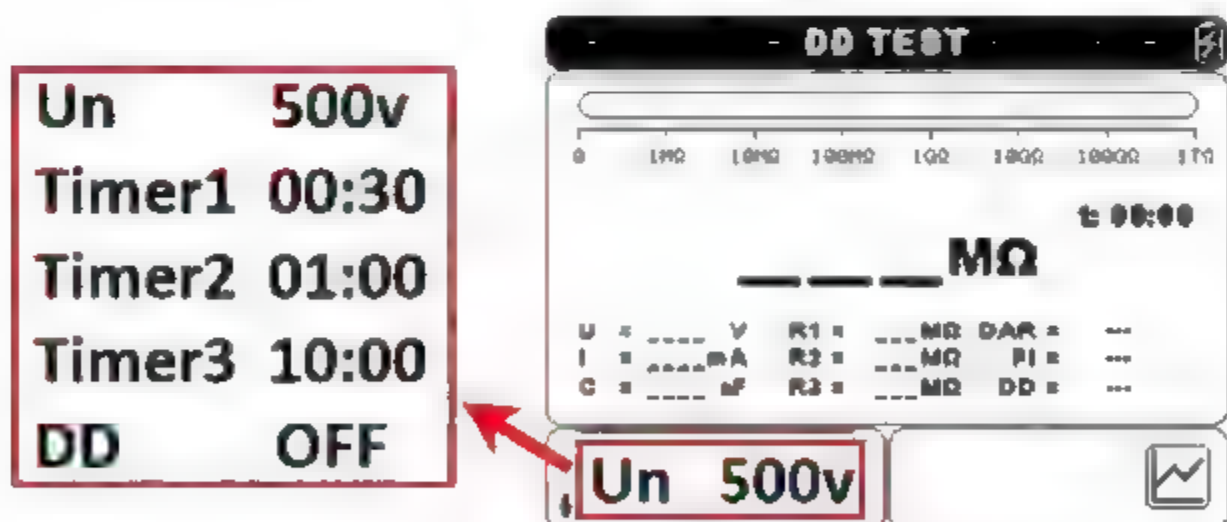
10. نقوم بإختيار واحدة من أساليب المخصص التالية.
10.1 المخصص بأسلوب الزمن القصير (Spot Test)؛ نقوم بإختيار (Insulation Resistance Test) من نافذة القياسات (Measurements) الممننة في الشكل (2-2-4) بالضغط على زر (Select) للانتقال لنافذة المخصصة بهذا الأسلوب والممننة في الشكل (2-2-5)



الشكل رقم (2-2-5)

من الشكل (2-2-5) باستخدام الأسهم الأربعة يتم تحديد فولتية الفحص (Un) و مدة الفحص (Timer1) وكذلك حد أعلى قيمة الفحص (Lim) إذا أردت، و عادة ما تكون مدة لفحص دقيقة واحدة لهذا الأسلوب

10.2 الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (DAR) و مؤشر الإستقطاب (PI) و أسلوب تفريغ العازل (DD)؛ يقوم بحسب (Diagnostic Test) من نافذة الأساس (Measurements) لمسية في الشكل (2-2-4) بالضغط على زر (Select) لننتقل للنافذة الخاصة بهذا الأسلوب و المبينة في الشكل (2-2-6).



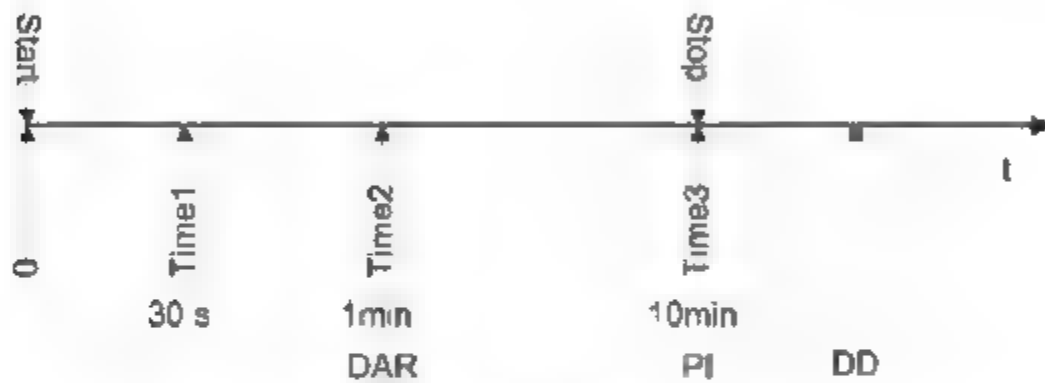
الشكل رقم (2-2-6)

إذا أردنا إجراء الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (DAR or AI) نستخدم الأسهم الأربعة نقوم بعدد 1 قوسية الفحص (Un) و الرمز (Timer1) و الرمز (Timer2)، و عادة ما يكون الرمز الأول

(Timer1) مقداره (30 s) و الزمن (Timer2) مقداره (1 min)، حيث في هذا الأسلوب تكون النتيجة حاصل قسمة (Timer2) على (Timer1)

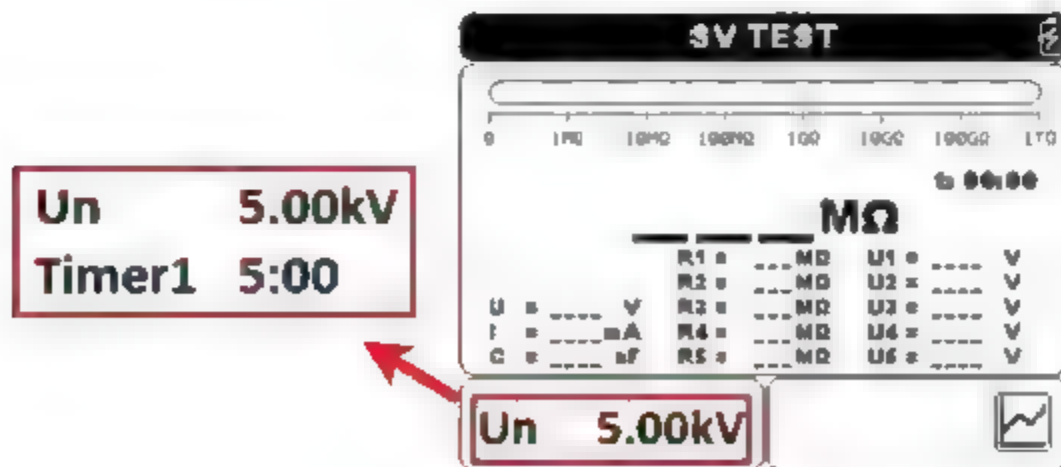
و إذا أردنا إجراء الفحص بأسلوب مؤشر الإسقاطات (PI) باستخدام الأسهم نقوم بتحديد قوس الفحص (Un) و الزمن (Timer2) و الزمن (Timer3)، و عادة ما يكون الزمن الأول (Timer2) مقداره (1 min) و الزمن الثالث (Timer3) مقداره (10 min)، حيث في هذا الأسلوب تكون النتيجة حاصل قسمة (Timer3) على (Timer2).

أما إذا أردنا إجراء الفحص بأسلوب قياس التفرغ (DD) باستخدام الأسهم نقوم بتحديد فولتية الفحص (Un) و الزمن (Timer2) و الزمن (Timer3) و يتمثل هذا الأسلوب بحمل (DD) (ON)، و عادة ما يكون الزمن الثاني (Timer2) مقداره (1 min) و الزمن الثالث (Timer3) مقداره (30 min) أو إبقاؤه (10 min)



الشكل رقم (2-2-7)

10.3 الفحص بأسلوب التدرج في الفولتية (SV)؛ نقوم باختيار (Step Voltage Test) من قائمة القياسات (Measurements) و نضغط في الشكل (2-2-4) بالضغط على زر (Select) لإظهار لمحة الشاشة بهذا الأسلوب و نضغط في الشكل (2-2-8)



الشكل رقم (2-2-8)

مثال: إن أردنا فحص هذا فحص وفهم نصيظ الرمز على (5 min) دقائق واولتية الفحص على (5 kV) كيلوفولت فإن جهاز الفحص سيقوم بفحص (1 kV) كيلوفولت لمدة دقيقة ثم يرفع الفولتية إلى (2 kV) كيلوفولت لمدة دقيقة وهكذا إلى أن يصل إلى (5 kV) كيلوفولت بعد (5 min) دقائق

11. بدء الفحص (تطبيق الفولتية) وذلك بالضغط على زر (Start/Stop) احيين في الشكل (2-2-2) حيث تبدأ ألامه لإشارة الحمراء بالوميض المتقطع (Blinking) طيلة مدة تطبيق الفولتية
- 12 بعد انتهاء مدة الفحص يظهر النتيجة على الشاشة ويجوز جهاز الفحص تلقائياً بعمل تفريغ سطافة لمختره في المصاب

مثال: في حال إجراء الفحص بأسلوب الرمز الفصير (IR Spot Test) يمكن إيقاف الفحص بعد استقرار قيمة مقرونة العزل بالضغط على زر (Start/Stop) أو بالإستمرار حتى إنتهاء مدة الفحص

الشكل (2-2-9) يوضح شاشة النتائج للجهاز بعد إنتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (IR)



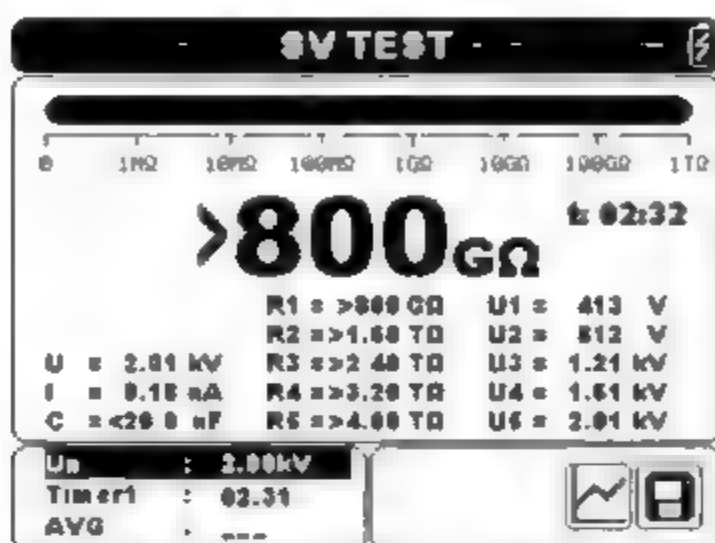
الشكل رقم (2-2-9)

الشكل (2-2-10) يوضح شاشة النتائج للجهاز بعد إنتهاء الفحص باستخدام أسلوب الفحص (DAR & PI & DD)



الشكل رقم (2-2-10)

الشكل (2-2-11) يوضح شاشة النتائج لجهاز عد انتهاء المحص باستخدام أسلوب المحص (SV)



الشكل رقم (2-2-11)

الملحق (2-3)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط ، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جـ_____ دأ وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة العزل باستخدام جهاز

1555 10kV Insulation Resistance Tester by FLUKE

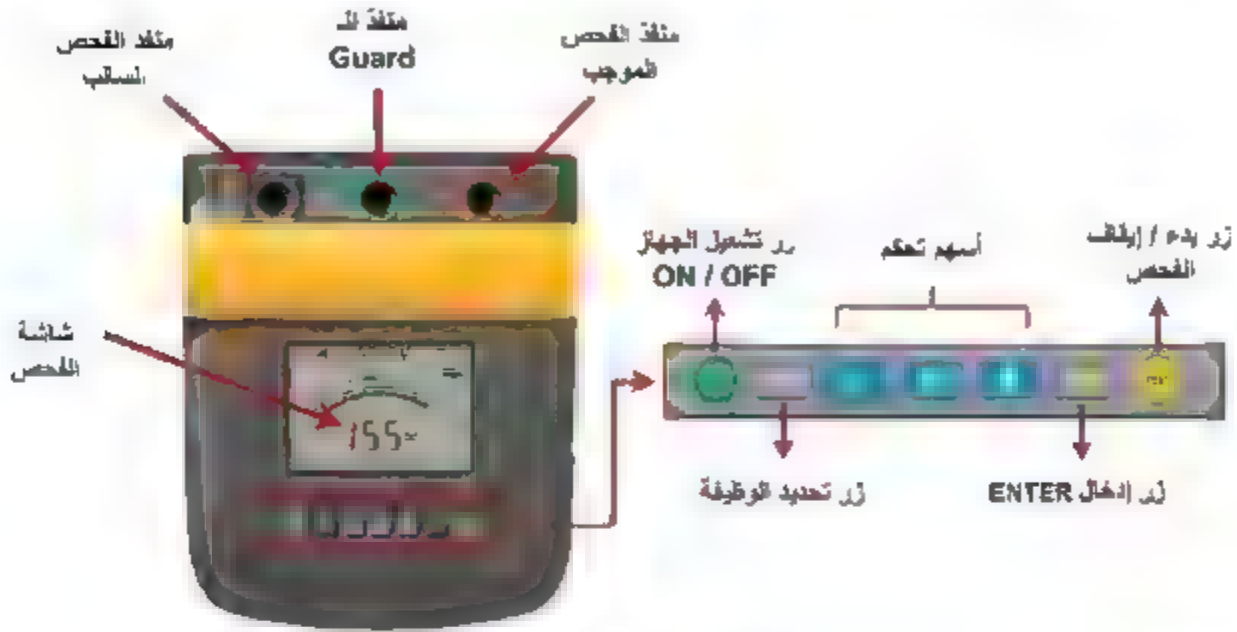


الشكل رقم (1-3-2)

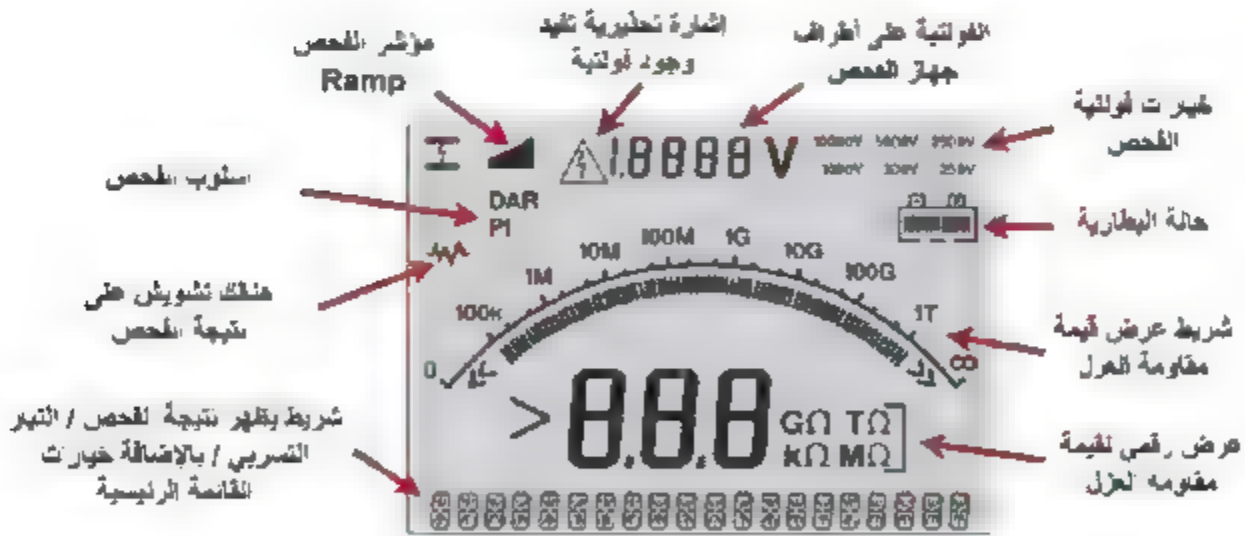
• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. التأكد من تطبيق الخطوات (7.1 إلى 7.8) الواردة في فقرة خطوات الفحص من فصل فحص مقاومة لعزل.
2. التأكد من أن الدائرة المراد فحصها غير مكهربة و عدم وجود احتمالية لكهربتها أثناء الفحص
3. لا يتم لمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده إلا بعد التأكد من عدم وجود فولتية وأن الملفات تم تبريدها من شحنتها تماماً
4. التأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك الـ Crocodile Clips في حالة حيدة وغير ممسكة ولا تعالي من أنه أضرار فيزيائية كالشقوق أو التمزق للعزل الخاص بها

5. لتأكد من أن جهاز القحص المؤرد يستخدمه شعاع (Calibrated)
6. قبل البدء بالقحص يُفضل التعرف على أجزاء الواجهة الرئيسية للجهاز من شاشة ومفاتيح وأزرار بحكم بالإضافة لعناصر شاشة اعرض لجهاز القحص كما هو مبين بالشكل (2-3-263)



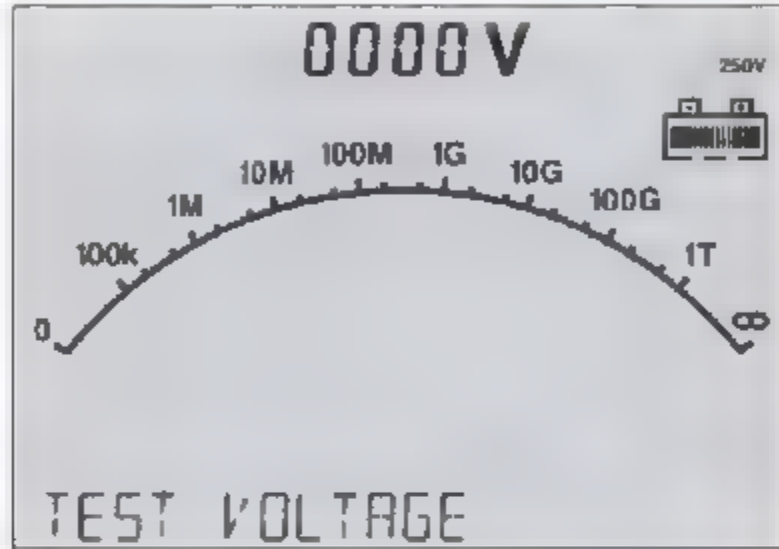
الشكل رقم (2-3-2)



الشكل رقم (2-3-3)

7. يحصر جهاز القحص إلى الموقع وتوصيل الأسلاك الخاصة به على النحو التالي
 - 7.1 توصيل أسلاك الأحمر بالمكان المخصص له على الجهاز (+) معيد القحص بموجب
 - 7.2 توصيل أسلاك الأحمر بالمكان المخصص له على الجهاز (Guard) معيد القحص الأحمر
 - 7.3 توصيل أسلاك الأسود بالمكان المخصص له على الجهاز (-) معيد القحص السالب

8. توصيل أسلاك جهاز الفحص (Test Leads) بالطرف المحول وذلك بالرجوع إلى الحدوث (2-2) و (2-3) وكذلك الأشكال (2-9) إلى (2-16) من فصل فحص مقدمة العمل وذلك بعد إخمير التوصيله المناسبه
9. تشغيل الجهاز بالصعط على زر التشغيل (On/Off) الموضح في الشكل (2-3-2) ليظهر الشاشة الرئيسية المبيته في الشكل (2-3-4).



الشكل رقم (2-3-4)

10. لتأكد من أن جهاز الفحص مشحون ، وأن البطارية مُكتملة، بحيث يُمكن ملاحظه ذلك من شاشة الفحص المبيته في الشكل (2-3-4).

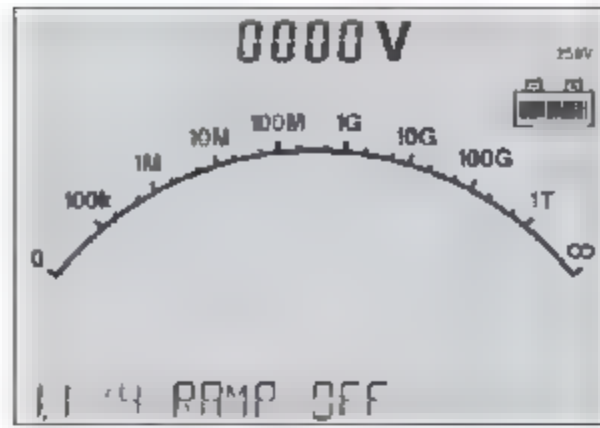
11. تحديد فولتية الفحص:

من الشاشة الرئيسية الظاهره في الشكل (2-3-4) والتي تكون دائماً على وضعية تحديد فولتية الفحص (TEST VOLTAGE) نقوم بتحديد الفولتية مباشرة بواسطة الأسهم وذلك لإختيار وحدة من القيم التالية (250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000) فولت، أو بالصعط على زر إدخال (Enter) ومن ثم بواسطة الأسهم نقوم بإختيار فولتية الفحص عبر زيادة أو إنقاص (50 V) فولت بكل صعطة سهم لأعلى أو لأسفل ومن ثم يتم الصعط على زر إدخال (ENTER) لعرض الفولتية المرادة والرجوع لقائمة الرئيسية

12. إختيار أسلوب الفحص المناسب كالآتي:

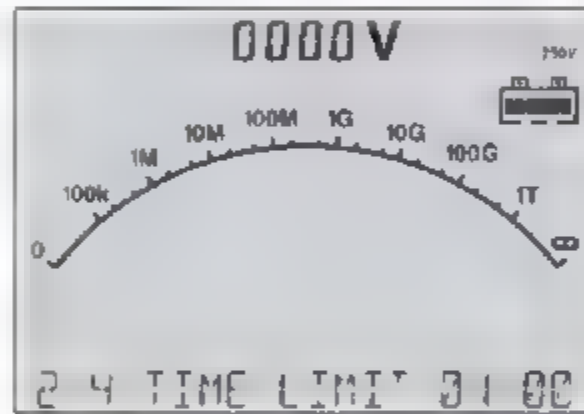
12.1 الفحص بأسلوب الزمن القصير (Spot Test):

من القائمة الرئيسية المبيته في الشكل (2-3-3) وبعد تحديد فولتية الفحص المناسبة نقوم بالانتقال مدئمة إختيار الأخرى وذلك بالصعط على زر (Function) لتظهر لنا الشاشة لمسية في الشكل (2-3-5)



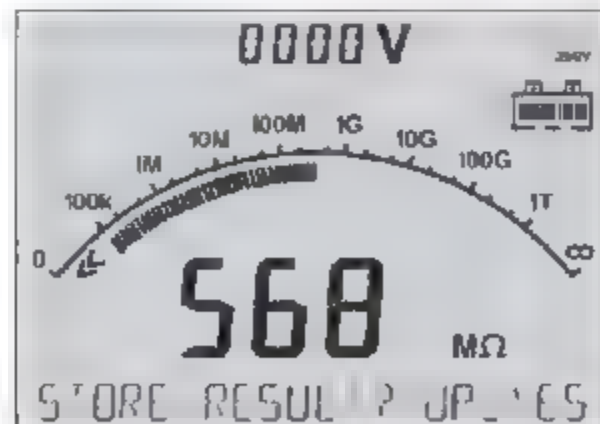
الشكل رقم (2-3-5)

بعد ذلك، نقوم بالضغط على السهم الأعلى لإنشاء الخيار (2/4 TIME LIMIT OFF) ومن ثم نضغط على زر إدخال (ENTER) ثم نوسطة الأسهم، نقوم بتحديد رس المحص المناسب باندقة ومن ثم نضغط على زر إدخال (ENTER) مرة أخرى كما هو مبين في الشكل (2-3-6) والتي يُظهر رس المحص المضبوط على دقيقة واحدة فقط.



الشكل رقم (2-3-6)

وبذلك، نكون جاهزين بدأ الفحص بالصعظ مطولاً على زر بدأ الفحص (TEST) المبين في الشكل (2-3-7)، لتظهر نتيجة الفحص كما هو مبين بالشكل (2-3-7)



الشكل رقم (2-3-7)

حيث يُمكن حفظ نتيجته المحص بالضغط على السهم الأعلى.

12.2 الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (DAR):

من الخدمة الرئيسية الممنية في الشكل (2-3-3) وبعد تحديد قوائم الفحص المناسبة نقوم بالانتقال قائمة خيارات الأخرى وذلك بالضغط على زر (Function) يظهر لنا الشاشة الممنية في الشكل (2-3-5)، وبعد ذلك نقوم بالضغط على زر إدخال (ENTER) ونستخدم لأسهم تحديد الخيار (1.3/4 DAR T = 1) ومن ثم نقوم بالضغط على زر إدخال (ENTER) لإختياره كما هو مبين بالشكل (2-3-8).



الشكل رقم (2-3-8)

بعد ذلك تظهر الشاشة الممنية في الشكل (2-3-9) والتي من خلالها يمكن ضبط زمن الفحص والذي يتم ضبطه عادة على دقيقة واحدة.



الشكل رقم (2-3-9)

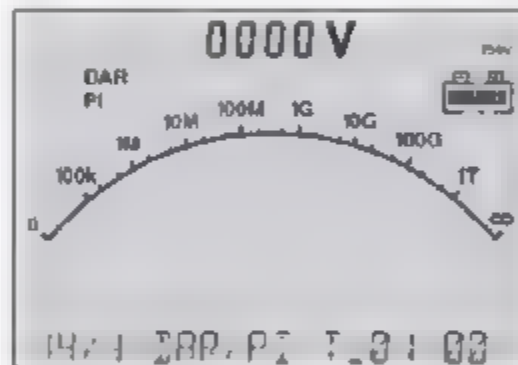
وبناءً على ذلك، جازي أيضاً الفحص بالضغط مطولاً على زر بدأ الفحص (TEST) المبين في الشكل (2-3-10) لتظهر نتيجة الفحص كما هو مبين بالشكل (2-3-10).



الشكل رقم (2-3-10)

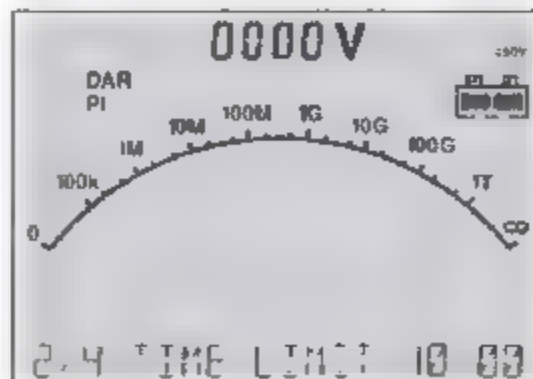
12.3 الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (DAR) ومؤشر الإستقطاب (PI) معاً؛

من لقائمه الرئيسيه المبييه في الشكل (2-3-3) وبعد تحديد فوسيه الفحص لمناسبه نقوم بالإنتقال فلقمه خيارت الأخرى وذلك بالصعط على زر (Function) لتتغير لنا المبييه لمنسبه في الشكل (2-3-5)، وبعد ذلك نقوم بالصعط على زر ادخال (ENTER) وبإستخدام لأسهم نحدد الخيار (1.4/4 DAR/PI T = 10) ومن ثم نقوم بالصعط على زر ادخال (ENTER) لإختياره كما هو مبين بالشكل (2-3-11).



الشكل رقم (2-3-11)

بعد هذا تظهر الشاشة لمبييه في الشكل (2-3-12) والتي من خلالها يُمكن ضبط زمن الفحص والذي يتم ضبطه عادة على عشر دقائق.



الشكل رقم (2-3-12)

وسلك تكون جهتين بدأ فحص بالصعق سطوفاً على زر بدأ الفحص (TEST) ليس في الشكل (2-3-2) 2. لتظهر نتيجة الفحص كما هو مبين بالشكل (2-3-13).



الشكل رقم (2-3-13)

12.4 الفحص بأسلوب مؤشر الإمتصاص (DAR) وفقاً للمعايير الصينية؛

تختلف المعايير الصينية عن باقي المعايير فيما يخص هذا الأسلوب حيث يكمن الاختلاف في العادلة الخاصة بحساب مؤشر الإمتصاص (DAR)، حيث أن المعيار الصيني يعتمد المعادلة التالية

$$DAR \text{ or } AI = \frac{R_{60s}}{R_{15s}} = \frac{I_{15s}}{I_{60s}} \quad (2.3.1)$$

حيث:

Dielectric Absorption Ratio or Absorption Index	مؤشر الإمتصاص	DAR or AI
: قيمة مقاومة العزل عند الدقيقة الأولى من الفحص (MD).	R_{60s}	
: قيمة مقاومة العزل عند الثانية (15s) من الفحص (MD)	R_{15s}	
: قيمة التيار المتسرب من خلال العازل عند الثانية (15s) من الفحص (μA)	I_{15s}	
: قيمة التيار المتسرب من خلال العازل عند الدقيقة الأولى من الفحص (μA)	I_{60s}	

أما أغلب المعايير والمراجع فقد اعتمدت المعادلة التالية

$$DAR \text{ or } AI = \frac{R_{60s}}{R_{30s}} = \frac{I_{30s}}{I_{60s}} \quad (2.3.2)$$

حيث:

Dielectric Absorption Ratio or Absorption Index	مؤشر الإمتصاص	DAR or AI
: قيمة مقاومة العزل عند الدقيقة الأولى من الفحص (MD).	R_{60s}	
: قيمة مقاومة العزل عند الثانية (30s) من الفحص (MD)	R_{30s}	
: قيمة التيار المتسرب من خلال العازل عند الثانية (30s) من الفحص (μA)	I_{30s}	
: قيمة التيار المتسرب من خلال العازل عند الدقيقة الأولى من الفحص (μA)	I_{60s}	

ولإختيار المحص نقوم بالاتي من القائمة الرئيسية الممتدة في الشكل (2-3-3) و بعد تحديد فونية المحص لمسحه قوم بالانقر قائمة الخيارات الأخرى وذلك بالضغط على زر (Function) ليظهر لنا شاشة لمبينة في الشكل (2-3-5)، وبعدها نقوم بالضغط على زر إدخال (ENTER) و نستخدم الأسهم بعدد لختيار (1 5/4 DAR (CN) T=1) ومن ثم نقوم بالضغط على زر إدخال (ENTER) لإختياره كما هو مبين بالشكل (2-3-14)



الشكل رقم (2-3-14)

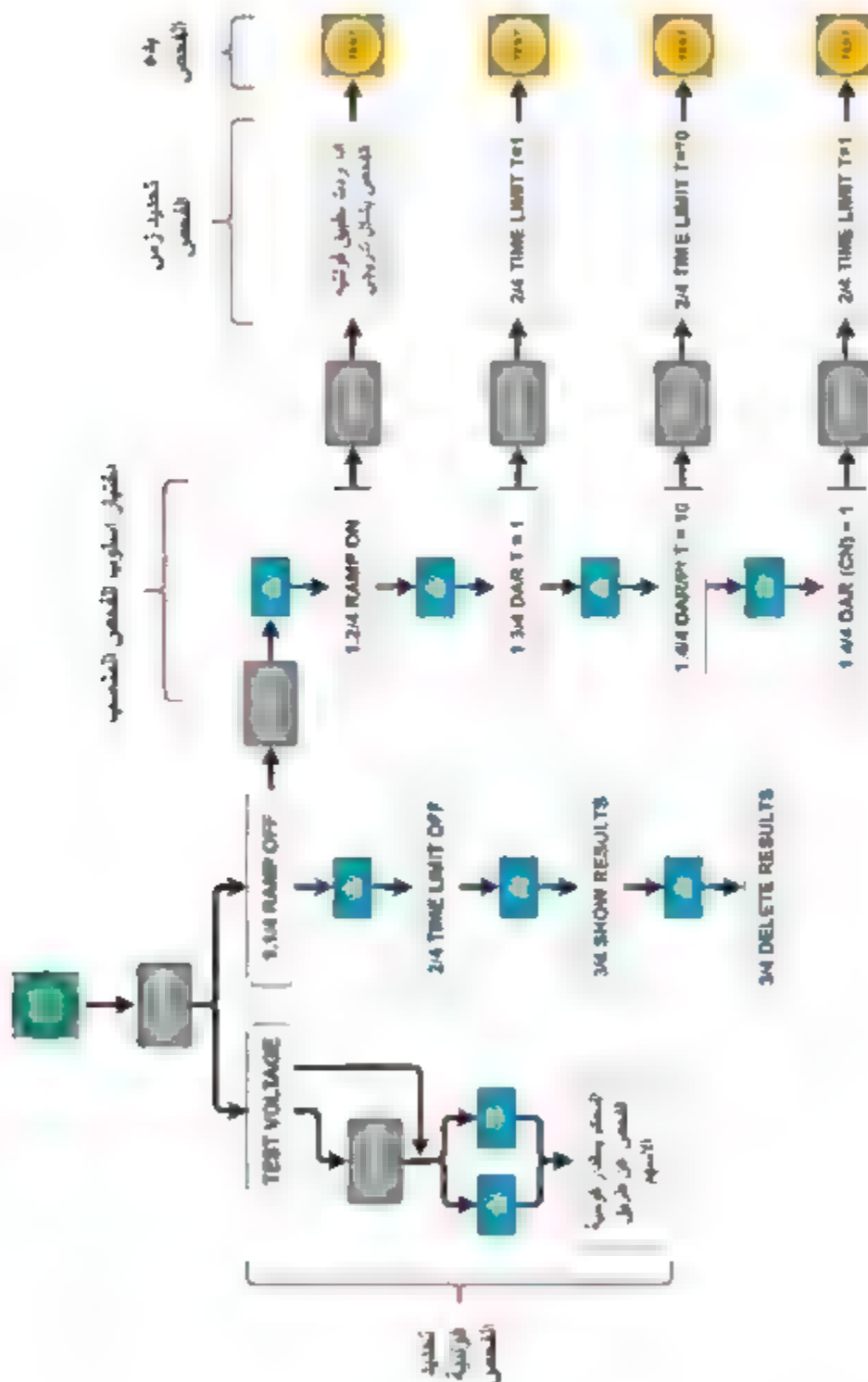
بعدها تظهر الشاشة الممتدة في الشكل (2-3-9) والتي من خلالها يمكن ضبط رسم المحص والاتي يتم ضبطه عادة على دقيقة وحدة وبذلك نكون جاهزين لبدا فحص بالضغط مطوفاً على زر باد المحص (TEST) المبين في الشكل (2-3-2) ان تظهر نتيجة المحص كما هو مبين بالشكل (2-3-15)

تحليين وفي حال أردت إيقاف الفحص (حقن اعوائية) قبل إنتهاء وقت الفحص لأي سبب من الأسباب نقوم بالضغط على زر فحص (TEST)



الشكل رقم (2-3-15)

الشكل (16-3-2) يسر محفظ شعري لتسهيل تصحيح اختارات وحرر الحمار ولمساعدة في ضبط
عدادات الفحص



الشكل رقم (2-3-16)

الفصل الثالث

فحص مقاومة الملفات

Winding Resistance Test (WR)



فحص مقاومة الملفات

Winding Resistance Test

تُعتبر فحص مقاومة ملفات المحول (Winding Resistance Measurement - WRM) عن مقاومة المسار الحامل لتيار داخل المحول. الملفات الحساسة في أغلب الأحيان ، هذه المقاومة التي تُعطي تصور عن حالة الدخلة لمعدات كوحدة قطع كلي أو حرثي الملفات أو غيره من الأضرار الغير شنة لي قد تنحى بالملفات أو مُعَيَر الخطوة (Tap-changer)، كما ويُمكن استخدام قيمة هذه المقاومة في حساب ضياعات انماذيه أو الحاسية سابقة الذكر لهذا المحول ويُتلى أيضاً على هذا فحص (Static Cold Resistance Measurement) وتم وضع كلمة (Static) للدلالة على أن هذا الفحص تجري بالوضع الإستديكي أي بدون وجود حركة وكذلك التفرقة به وبين فحص (Dynamic) والذي يتم من خلاله قياس قيمة المقاومة أثناء حركة مُعَيَر الخطوة (Tap-changer) من النوع (OLTC) للناك، من سلامة، وفيما يخص كلمة (Cold) فهي للدلالة على أن هذا الفحص يتم إجروه بعد وصول المحول إلى حالة الإستقرار الحراري كما سيتم شرحه لاحقاً في هذا الفصل

وكما هو معلوم وعند اختيار موصلات الحاسية بملفات المحول فيما إذا كانت نحاسية أو من الألمنيوم فإن قيمة المقاومة الكهربائية (Resistance) من أهم أرقامه و المحورية، حيث أحد من القيم المؤثرة في التحكم بكمية التيار حر في الملفات وفقاً لقيم التيار التصميمية بالإضافة إلى التحكم بمستوى ضياعات الحمل (Load Losses) لهذا المحول، وقياس هذه المقاومة بشكل دوري يقي من حدوث عَضَب للمحول على المدى البعيد ويُفس من انطاف الصالعة على شكل حرارة نتيجة لزيادة في قيمة هذه المقاومة كما ويُعتبر هذا الفحص من الفحوصات غير التدميرية (Non-destructive test) أي أنه لا يؤثر على سلامة العزل وذلك لأن مقدار فولتية الفحص أقل من مقدار غلوتيه لإسميه الحاسية بالمحول.

وتلخص سلامة أي محو، في سلامة ثلاثه أنظمة داخلية للمحول وهي نظام العزل والنظام الميكانيكي والنظام الحراري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل المحو بالكامل، وهذا الفحص يُمكن من الكشف عن سلامة النظام الميكانيكي والحراري للمحول وذلك بالكشف عن الأعطال التي تحدث لمسار الحامل لتيار داخل المحول كالملفات (Winding) أو مُعَيَر الخطوة (Tap changer)

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفع لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني لتأكد من سلامة المحول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحول (وهو محال بحثاً في هذا الكتاب) ولأسباب خاصة أخرى، وتتنخص هذه الأسباب بالآتي

- 1.1 في مصنع لصنع البصير الحدودية (Quality Control - QC) وكذلك يُعتبر من فحوصات لقبول التصنيعية (Factory Acceptance Test - FAT) لتأكد من سلامة المحو ومطابقتها للتصميم قبل نقله للموقع
- 1.2 في الموقع قبل كهرة المحول لمرح الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات لقبول الموقعية (Site Acceptance Test - SAT) للتأكد من سلامة المحو بعد نسه وتركيبه في الموقع.
- 1.3 قبل كهرة لمحول (Transformer energization) بعد عمليات الصيانة المختلفة في الموقع
- 1.4 قبل كهرة المحو (Transformer energization) بعد تغيير وصعيه شعير لخصوة (-Tap changer) من نوع (De-energized Tap Changer DETC or OCTC) وذلك لضمان عدم وجود فتح بدائرة الملفات الداخلية للمحول (Open circuit)
- 1.5 لحساب مركبة الصباعات المادية أو النحاسية (I^2R) للموصلات الخاصة بالمحول ومعرفة الكفاءة، حيث تشكل هذه المركبة الجزء الأكبر من نسبة مصاءات الحمل (Load Losses)
- 1.6 قبل فحص إرتفاع الحرارة (Temperature Rise) حيث تُستخدم قيمة هذا فحص مقاومة ملفات - لحساب درجة حرارة ملفات في نهاية فحص الارتفاع (Temperature Rise).
- 1.7 بشكل روتيني (Routine test) وذلك لكشف عن وضع المحول الحالي وإستخدام نتيجة هذا لفحص كمرجع (Reference value)
- 1.8 تحديد الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

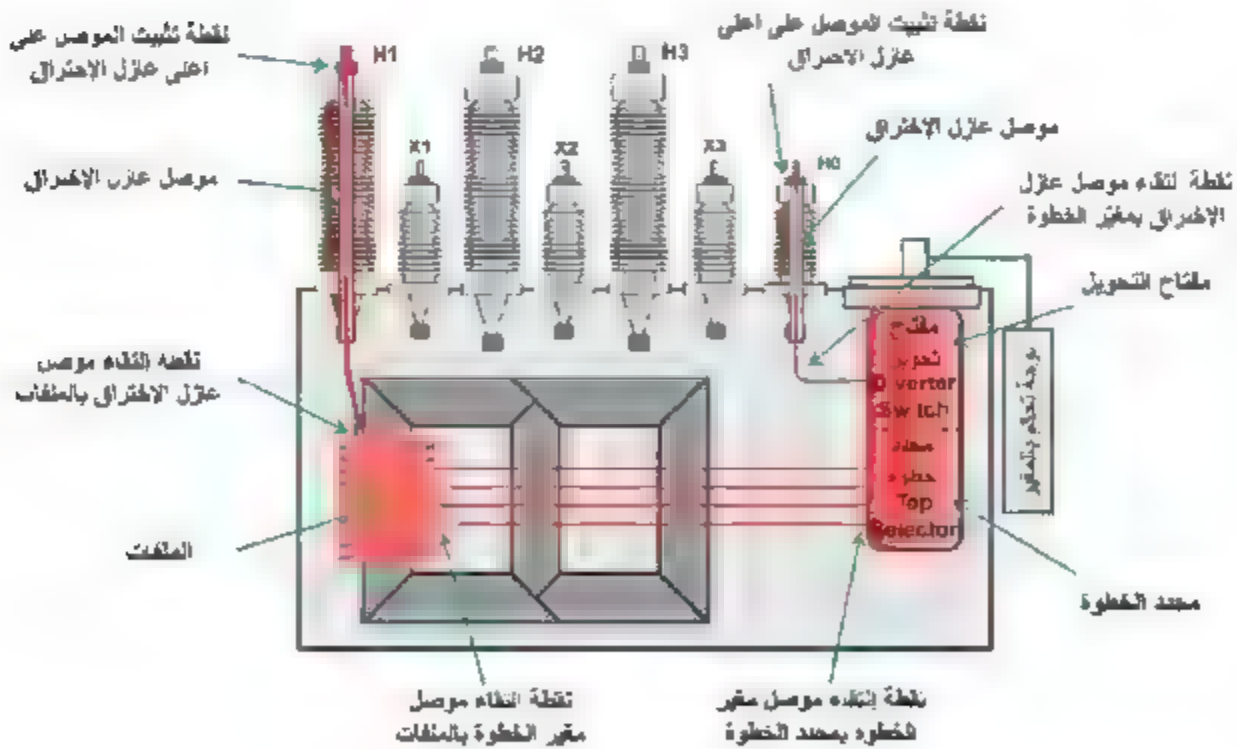
يتم انجاء عمل هذا الفحص في حال إرتفاع درجة حرارة ملفات المحول أو حدوث فصل قسري للمحو (Trip) نتيجة لإرتفاع درجة الحرارة أو في حال ظهور نتائج غير مُرضية لفحص غازات الدثبه في أرباب (Dissolved Gas Analysis - DGA) خاصة عند ظهور غازات الميثان CH_4 و الإيثان C_2H_6 و الإيثيلين C_2H_4 مُجمعة والتي تُطلق عليها غازات حماء المعدن (Hot metal gases) وينبأه عن حماء المسار لحاس للتير في المحول كالحاس أو الألمنيوم

كما ولعد تعرض محول لإجهاد ميكانيكي كإهتزاز أو النقل أو لصدمات، بالإضافة إلى تعرض المحول إلى إجهاد ناتج عن عطل كهربائي مثل الأعطال الأرضية (Earth Faults) وما ينبج عنها من تيرت قصير د ب قيمة مرتفعة من الأمور التي تدفعنا لعمل هذا الفحص بهدف شخيصي

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص.

- وجود قطع كلي أو جزئي في ملفات المحول (Open circuit or Crack)، مما يؤدي لارتفاع قيمة المقاومة المقاسة من خلال هذا الفحص.
- وجود قصر (Short circuit) بين لفات الحلقب المختلفة من المحول أو بين لفات من نفس الملف، مما يؤدي لانخفاض قيمة المقاومة المقاسة من خلال هذا الفحص.
- وجود نقاط توصيل رديئة (Poor electrical connections) في المحول، مثل وجود إرخاء (Loose) في نقاط توصيل موصلات عوزل لإحتراق أو كسب تُسمى جُنب المحول (Bushing leads) بملفات محول، أو وجود إرخاء في نقاط توصيل ملفات المحول مُعبر الخطوة (Tap changer)، مما يؤدي لارتفاع قيمة المقاومة المقاسة من خلال هذا الفحص.
- عطل داخلي في حمل مُعبر الخطوة (Tap Changer) أو تآكل أو أكسدة ملاصقة، مما يؤدي لارتفاع قيمة المقاومة المقاسة من خلال هذا الفحص.

ويُبين الشكل (3-1) مثال على المسار الحامل للتيار داخل المحول أثناء إجراء هذا الفحص والذي يُبين أهم المداخل التي يستعملها هذا الفحص والموصلة بالنوى الأحمر، حيث تُمثل عداد الإثارة المُشار إليه في الشكل المداخل الأكثر شيوعاً كمسارات لارتفاع قيمة مقاومته لفات إلى جانب مُعبر الخطوة (Tap-changer) نفسه.



الشكل رقم (3-1)

3. فلسفة الفحص

قبل الخوض في تفاصيل الفحص لابد من إيجاز هام وهو "ما الفرق بين المقاومة لفتاسه من خلال هذا الفحص وهي مقاومة التيار الثابت (DC Resistance) ومقاومة التيار المتردد (AC Resistance) التي يتم قياسها باستخدام تيار وفولتية متردد أو أثناء التحميل الطبيعي للمحول؟"

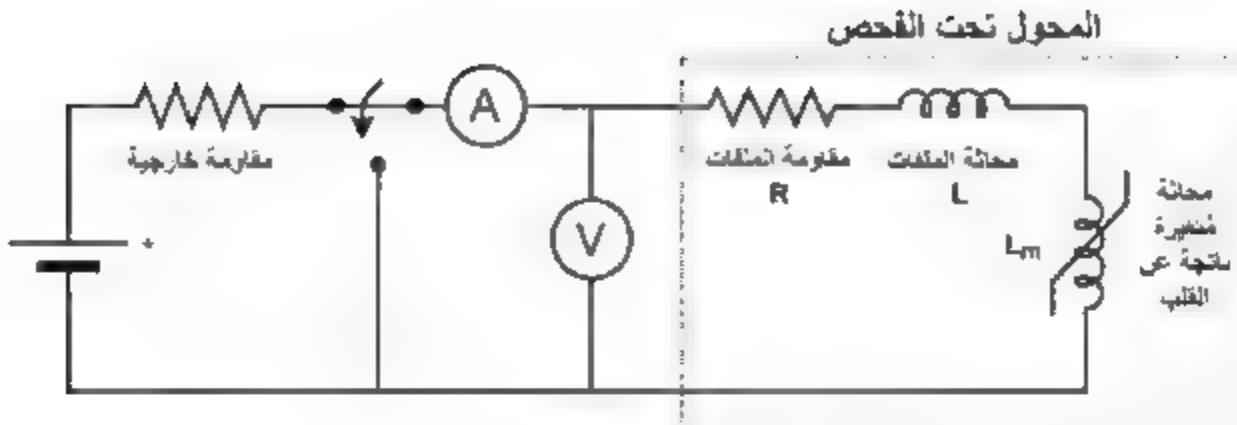
كما هو معلوم أن مقاومة السير المتردد للمحول (AC Resistance) تتكون من مركبتين أحدهما تمثل الجزء المادي من المقاومة (R)، والآخر يمثل الجزء التخيلي أو ما يُسمى بـ (Imaginary part) وهي المساحة الحثية (XL)، ومنه فإن هذه المقاومة تدل على كثير من المعلومات خاصة بمركبت صديقات الحمل داخل المحول من صباغات مادية أو نحاسية (Resistive or Copper Losses) بالإضافة إلى الصباغات الشاردة (Stray Losses) وتُقسمت صباغات التيارات الدوامية في المصبات (Winding Eddy Losses) وصباغات التيار الدوّار في الموصلات المتوازية (Parallel Tank Stray Conductors Circulating Current Losses) ونصاً الصباغات الشاردة في خزان (Tank Stray Losses)، أما من الناحية المشخصة وبما يخص هذا الفحص فإن هذه المقاومة (AC Resistance) لا يُمكن الاستفادة منها هنا أيضاً، مع العلم أن هذه المقاومة يتم إسجراجها والاستفادة منها في محوسبات أخرى مثل فحص الإستجابة لتردد الصباغات الشاردة (Frequency Response of Stray Losses - FRSL).

أما فيما يخص المقاومة المُقدَّسة في هذا الفحص فهي مقاومة التيار الثابت (DC Resistance) والتي تدل على لصباغات المادية أو النحاسية ($Copper Losses + I^2R$) فقط، وكذلك تُعطي تصور عن وضع الموصلات الزاهن وهو ما يرجوه من هذا الفحص.

ملحوظة (3-1): إن مقاومة التيار المتردد (AC Resistance) بحوي بداخلها أيضاً مقاومة السير ثابت (DC Resistance) بذلك تكون قيمته أكبر قليلاً



لقياس قيمة مقاومة التيار الثابت (DC Resistance) فإن الطريقة المُتعارف عليها هي فحص تيار ثابت (DC current) وفحص الهبوط بالفولتية على أطراف المقاومة ومن ثم حساب هذه المقاومة وفقاً لقانون أوم (Ohm's Law)، ولكن هذه الطريقة تُمكن تطبيقها بكفاءة عالية وسهولة عند قياس مقاومة مادة فقط (R) أما إذا إقرن وجود هذه المقاومة بوجود محاعة (Inductance) فإن ذلك من شأنه رفع الأمر صعوبة خاصة إذا كانت هذه المحاعة ذات حث حديدي كما هو الحال في المحولات وكما هو موضح بالشكل (3-2)



الشكل رقم (2-3)

سيحده لذلك هناك عدداً رئيسيين يُعيّيان الفقد: الفحص بسهولة ويُسرّ وهما

- ✓ التعرُّر في قيمة التيار مع الزمن عند بداية الفحص نتيجة لوجود محاثة الملفات (Winding Self Inductance - L) والتي تُقاوم مرور هذا التيار بالبدنة ثم يستقر قيمته بعد ذلك.
- ✓ التعرُّر في قيمة المحاثة الناتجة عن القلب الحديدي للمحول مع الزمن (Mutual Inductance - L_m) والتي تزداد مع عدم تشبع القلب الحديدي للمحول (Saturation)

وهذا التعامل يسمح علينا مُركبتين الهبوط 'المؤلمية' (Drop Voltage) تُضافان إلى الهبوط في الفولتية على أطراف المقاومة (RI) وهي القيمة المتداولة فقط، مما يجعل قياس مقاومة هذه الملفات غير دقيق نتيجة لتداخل قيمة الفولتية كما هو مُبين بالمعادلة التالية

$$V = R I + L \frac{dI(t)}{dt} + I \frac{dL_m(t)}{dt} \quad (3.1)$$

حيث:

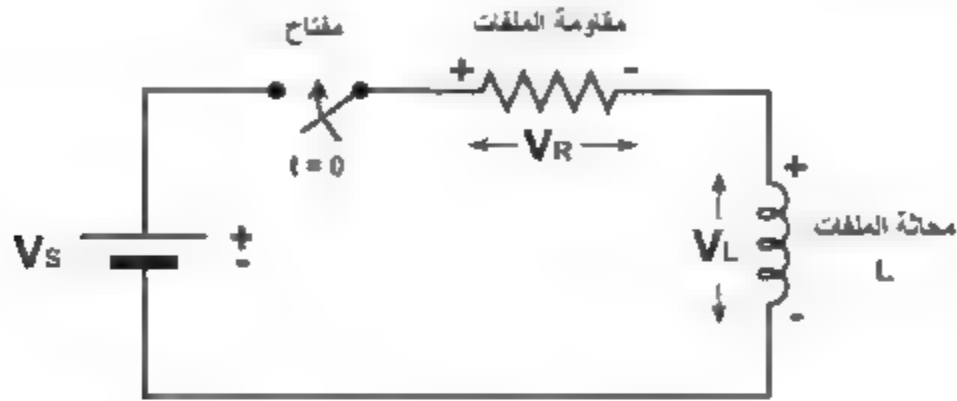
- $R I$: تمثل مُركبة الهبوط في المؤلمية الناتجة عن المقاومة وهي القيمة المطلوبة لحساب هذه المقاومة.
- $L \frac{dI(t)}{dt}$: تمثل مُركبة الهبوط في المؤلمية الناتجة عن التعرُّر في قيمة التيار نتيجة وجود محاثة الملف (L)
- $I \frac{dL_m(t)}{dt}$: تمثل مُركبة الهبوط في المؤلمية الناتجة عن التعرُّر في قيمة محاثة المُشركة الناتجة عن عدم تشبع القلب الحديدي للمحول (L_m)

لذلك بعد فحص مقاومة ملفات المحول من الخصائص التي لا يمكن إيجاد قيمتها جريباً، بل يجب التخلص من قيمة المحاثة الناتجة عن القلب الحديدي والوصول إلى قيمة بار فحوص ثالثة حتى يتسنى لنا أخذ القراءة بنسبة خطأ تؤول للصغر

ولزيادة الفهم سيتم شرح هذه العوامل المؤثرة على الفحص.

• **عامل الأول: التركيبة الناتجة عن التعرُّف في قيمة التيار مع الزمن عند بداية الفحص.**

يمكن اعتبار عن ملفات المحول بشكل بسيط على اعتبار أن القلب هوائي على أنها مقاومة موصولة على التوالي مع محثته (Series R-L circuit) بحيث تكون قيمته الحثوية و لمحثته ذاته مع الزمن كما هو مبين بالشكل (3-3)



الشكل رقم (3-3)

وبدني وكما هو معيول فإن محاثه الملف (L) في حاله التيار الذا (DC) يمكن تمثيله على شكل وصلة قصر (Short Circuit) أي أنها بلا تأثير على الدارة ولكن هذا الكلام غير دقيق 100%، فالرجوع إلى الدائرة المبينة في شكل (3-3) وعند غلاق المفتاح عند (t = 0) وتطبيق الفولتية على المناومة والمحاثه فإن قيمة التيار تكون مساوية لمصدر وبداً دائرة تدرجاً حتى الوصول إلى إلى قيمة معينة واثبات، وبعد ذلك تسبب الفولتية المعاكسة المتولدة من المحاثه وفقاً لما و ن يسبب بحد قيمة العيسر المعيسر المعاكسي في الدايه وهما ما يسمى بال Back Electro-Motive Force (BackEMF)، ويمكن أن نمرر هذه الفولتية المتولدة على أطراف المحاثه (V_L) والتي أعاكس الفولتية الرئيسية المبينة على الدائرة (V_S) ونسويها بالمقد ر مما يحمل الفولتية على أطراف المقاومة (V_R) مساوية لمصدر في لحظة إغلاق المفتاح، وبعد ذلك تبدأ الفولتية المعاكسة على أطراف المحاثه (V_L) بالهبوط و عوسيه على أطراف المقاومة (V_R) بالارتفاع إلى أن تصل الفولتية على أطراف المحاثه لمصدر بعد فترة من الزمن ويصبح الفولتية على أطراف المناومة مساوي لفولتية المصدر (V_R = V_S) مما يؤدي إلى تساوي قيمة التيار المر في الدائرة، ويمكن ملاحظة ما سبق بتطبيق قانون كيرشوف الفولتية (KVL) على الدارة المبينه في الشكل (3-3) لنسح المعادله التاليه

$$V_S - (V_R + V_L) = 0 \quad (3.2)$$

$$V_R = V_S - V_L$$

حيث:

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$V_R = R.I$$

ومنه تُصبح المعادلة كالآتي.

$$R.I \uparrow \uparrow = V_S - L \frac{di}{dt} \downarrow \downarrow \quad (3.3)$$

حيث:

$R.I$: موئته على أطراف المقومته لفراد حساب قيمتها (V_R) والتي ترفع مع الزمن t

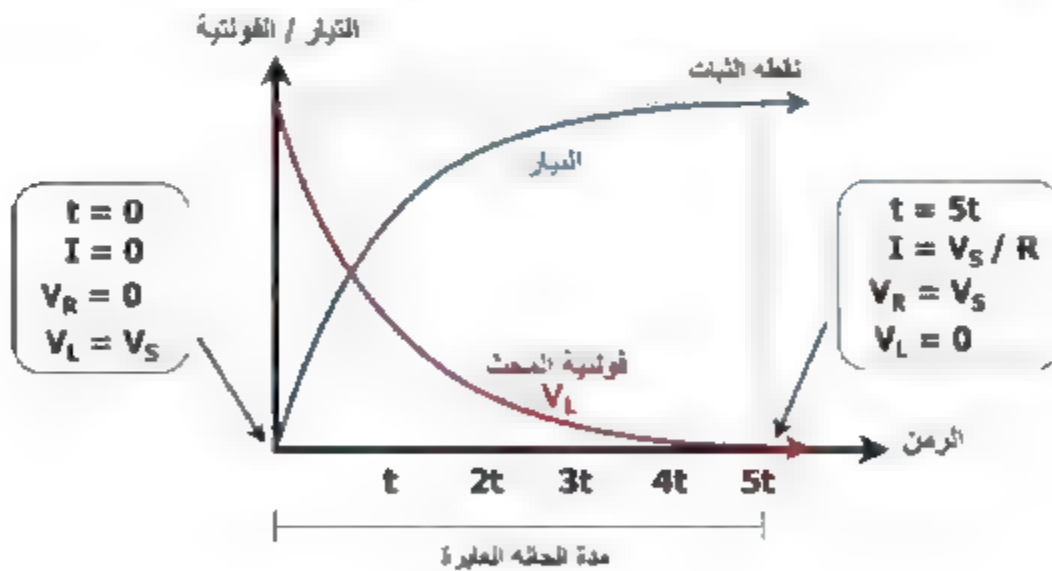
V_S : فولتية المصدر.

$L \frac{di}{dt}$: الفولتية على أطراف المحثة (V_L) والتي تنخفض مع الزمن t

يُمكن ملاحظته اختلاف قيمة الفولتية المُحصَّلة المُعتمَدة على المقومته وفعلاً بالتعُزُّر في قيمة التيار العابر في الدائرة نتيجة لوجود مخافة الملفد في الدائرة كما هو مُبين في المعادلة (3.3) سابقة، ومنه كذلك يُمكن صياغة معادلة تعزُّر التيار مع الزمن كالآتي.

$$I(t) = \frac{V}{R} (1 - e^{-Rt/L}) \quad (3.4)$$

حيث (t) يُمثل زمن وهو النسبة المُدَّة عن قسمه قيمه المحثة بـ L على قيمة المقومته R ولزوم (R)، وعادةً ما يتم الوصول إلى حالة استقرار التيار الدائر (Series R-L) عند ($5t$) وقد يقس ($9t$) حيث تكون دقة القياس قريبة ($\pm 1\%$) عند ($5t$) وقراءة ($\pm 0.1\%$) عند ($9t$) ومنه يُمكن ملاحظة تأثير قيمة مخدته والمقومته على زمن استقرار التيار كما هو مُبين بالشكل (3-4)



الشكل رقم (3-4)

من سبق يُمكن ملاحظة المُركبة غير المرغوب بها أي تُصعِّبنا التعزُّر في تيار على معادلة الفولتية التي يتم احتساب قيمه المقومته من خلالها كما هو مُبين في المعادلة (3.5) التالية

$$V = R I + L \frac{di}{dt} \quad (3.5)$$

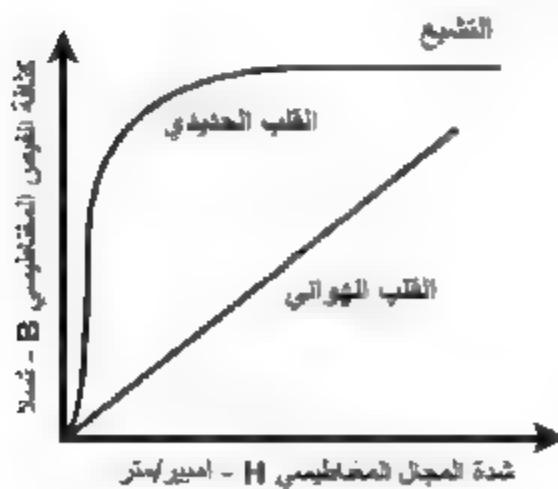
حيث:

$\frac{di}{dt}$ تعبر عن معدل لتغير في تيار الملفات مع الزمن، والتي نصل لأدى قيمة لها قدرة لصغر بعد فترة من الزمن.

وللتخلص من هذه الحركة يجب لإستقرار الحث إنهاء هذه الحالة العابرة بالإضافة إلى المحافظة قدر لإمكان على قيمة تيار فحص ثابتة طول فترة الفحص، مما يجعل معدل تغير التيار مع الزمن يساوي صفر ($\frac{di}{dt} = 0$) وذلك يعود يعود بالغاء الحركة الفصائية إلى المعادلة (3.5)، يؤدي إلى ثابت قيمة الهبوط بالعزلة على أطراف المقاومة ومنه ثابت قيمة المقاومة المتناسقة

العامل الثاني: المركبة الناتجة عن التعبر في قيمة المحاثة الناتجة عن القلب الحديدي للمحول مع الزمن.

من سلواه صفات المحول والتي يمكن تمثيلها بالمرحلة (Series R-L) يختص بحالة وجود قلب حديدي عن حالة عدم وجوده أي في حال اعتبار قلب المحول هو في كما هو في المرح السابق، وهذا بدوره يربط الأمر بتعقيد حيث سيؤدي إلى تصاعد تيار لدائرة بشكل خطياً نتيجة لظهور مركبة هبوط بالمولية أخرى المعروفة (3.5) السابقة سببها وجود محاثة ذات قيمة متغيرة مع الزمن نتيجة لعدم تشبع القلب الحديدي أو كما نسمي بالمحاثة المشتركة (Mutual Inductance - L_m) إلى جانب المحاثة الذاتية للملفات (Winding Self Inductance - L) ذات القيمة الثابتة والتي تم شرحها مسبقاً والمثبتة في الشكل (3-2) في حال إعتد وجود قلب حديدي 'مغناطيسي' كما هو الحال في أغلب المحولات القادرة للاستخدام عالمياً، يظهر محاثة ذات قيمة متغيرة (L_m) نتيجة لإختلاف خصائص منحنى التشبع (B-H Curve) الخاص بالقلب الحديدي عن خصائص منحنى تشبع القلب الهوائي والذي يلاحظ في أن منحنى التشبع (B-H Curve) الخاص بالقلب الهوائي خطي (Linear)، أما منحنى التشبع الخاص بالقلب الحديدي فهو غير خطي (Non-linear) كما هو مبين في الشكل (3-5)



الشكل (رقم 3-5)

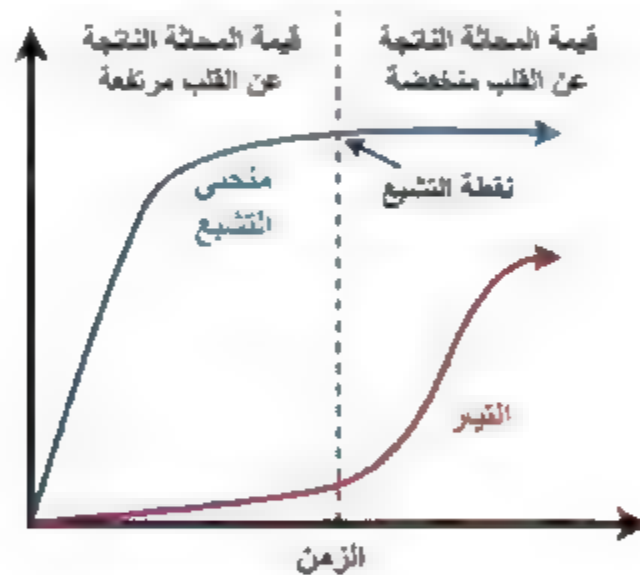
حيث أن قيمة هذه المحاثة المشتركة (L_m) الناتجة عن القلب الحديدي أو الهوائي تعتمد على ميل منحنى التشبع، ففي حالة القلب الهوائي ونظراً لخطية منحنى - ميل ثابت - فإن قيمة المحاثة مشتركة (L_m) تكون ثابتة ودارت قيمة قليلة جداً وتكون معادلة الهبوط في المعادلة (3.5)، أي أنها تكون من مركبتين فقط ولا تحتوي سوى على محاثة الملف نفسها (L) أما فيما يخص القلب الحديدي ذو منحنى التشبع غير الخطي ميل متغير فإن قيمة المحاثة المشتركة

(L_m) تكون مُعَيَّرَة مُعَيَّر ١، حيثُ من يُصَيِّف مُرَكَّبَهُ ثَالِثَهُ لِمُعَادَلَةِ لِهَيُوطِ بَاعْدُولَتِيهِ تَعْبُدُ قِيَمَتِي عَنِ مَعْدَلِ مُعَيَّرِ قِيَمَةِ هَذِهِ الْمَحَاثَةِ الْمُشْتَرِكَةِ الْمَاخُذَةِ عَنِ الْمَقْدَرِ الْحَدِيدِيِّ مَعَ الرَّمْسِ كَمَا هُوَ مُبَيَّنٌ بِالْمُعَادَلَةِ (3.6)

$$V = RI + L \frac{dI(t)}{dt} + I \frac{dL_m(t)}{dt} \quad (3.6)$$

حيثُ: $\frac{dL_m(t)}{dt}$ مُعَيَّرٌ عَنِ مُعْدَلِ التَّغَيُّرِ فِي الْمَحَاثَةِ الْمَاخُذَةِ عَنِ التَّلَبِّ الْحَدِيدِيِّ مَعَ الرَّمْسِ، وَبَنِي بَصُلٍ لِأَن قِيَمَتَهُ لَهَا مَعَ لَقَبَاتٍ عِنْدَ تَشْبُعِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ لِلْمَحْوَلِ.

وكما يُظْهِرُ فِي الشَّكْلِ (3-5) فَإِنَّ دَوْنِ الْمَحَاثِي الْخَاصِّ بِالْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ يَسْقُصُ مَعَ الرَّمْسِ بِأَن يَصِلَ الْخَصْفَرُ سَبَدَ تَشْبُعِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ، وَبَنِي يَسْقُصُ بِأَن يَصِلَ أَيْضًا الْمَاخُذُ مَعَ الْمَحَاثَةِ الْمُشْتَرِكَةِ الْمَاخُذَةِ عَنِ هَذَا الْقَلْبِ (L_m) يُصْبِحُ الْحَدِيدِيُّ كَمَا وَثِقَ لِقَلْبٍ هَوَانِي لَا حَدِيدِيٍّ. وَحِدَةُ تَشْبُعِ هَذِهِ هِيَ مَا يَرْتَوِي بِهِ حَتَّى يَنْتَسِي مُعَادَلَتَهُ لِهَيُوطِ بَاعْدُولَتِيهِ لِيُثَبِّتَ وَبَنِي تَلَبُّ قِيَمَتَهُ بِمَقَاوِمِهِ الْمَلْفُوفِ



الشكل رقم (3-6)

وَبَنِي يُمَكِّنُ عِبَارَةَ قِيَمَةِ الْمَحَاثَةِ الْمُشْتَرِكَةِ 'مُعَيَّرَةِ الْمَاخُذَةِ عَنِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ' (L_m) الْعَامِلَ الَّذِي مِنْ عَوَامِلَ عَدَدٍ يَسْقُرُّ قِيَمَتَهُ مَقَاوِمُهُ مَعَالِ الْمَحْوَلِ حَيْثُ تَصِلُ هَذِهِ الْمَحَاثَةِ إِلَى أَدْنَى قِيَمَتِهَا بِشَكْلِ تَلَبُّ عِنْدَ تَشْبُعِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ، مِمَّا يَتِمُّ لِيُجَارِ الْمَحْصَنُ بِالسَّرَّارِ دُونَ عَوْنٍ وَتَوْصُولٍ إِلَى أَعْلَى قِيَمَتِهِ لَهُ وَبَنِي كَمَا هُوَ مُبَيَّنٌ فِي الشَّكْلِ (3-6)، وَبَنِي يَوْضَحُ 'عِلَاقَةُ' بَيْنَ قِيَمَةِ تَارِ الْمَحْصَنِ وَمَحَاثَةِ التَّشْبُعِ وَقِيَمَةِ الْمَحَاثَةِ الْمُشْتَرِكَةِ مِنْ حِوْثٍ أُخْرَى حَيْثُ يُمَكِّنُ الْمَلَاخِظَةُ فِي ذَلِكَ الشَّكْلِ أَنَّ الْمَحَاثَةَ الْمَاخُذَةَ عَنِ هَذَا الْقَلْبِ تَسْلُكُ سَوَاءً الْحَدِيدِ الْكَهْرِبَائِيِّ، حَيْثُ أَنَّهَا تَعْبِقُ سَرَّارَ الْبِيرِ عِنْدَمَا تَكُونُ قِيَمَتُهَا مَرْتَفَعَةً أَوْ قَبْلَ تَشْبُعِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ وَتَصْبَحُ لِلتَّغْيِيرِ بِالسَّرَّارِ عِنْدَ هَيُوطِ قِيَمَتِهَا بَعْدَ تَشْبُعِ الْقَلْبِ الْحَدِيدِيِّ

ومن الشرح السابق يمكن استخلاص أن المعادلة المشتركة (Lm) ذات قيمة تعتمد على الزمن بالإضافة إلى قيمة التيار (كلما كان زيار المحصن أكبر كلما كان الوصول إلى نقطة الإشعاع أسرع)، بالإضافة إلى ما سبق لا تأخذ من الإشارة إلى فونية المحصن كأحد العوامل التي تعتمد عليها قيمة المعادلة المشتركة (Lm) إلى جانب العاملين المذكورين مسبقاً وهما الزمن وزيار المحصن، حيث أنه كلما زيار المحصن زيارتة فزيارتة للحصول على بعض المعطيات المؤدية لتشع القلب الحديدي بحلول كما هو مبين في المعادلة (3.7) التالية

$$\text{Magnetic Flux} = \text{Voltage} \times \text{Time} \quad (3.7)$$

وللتحصيل من هذه المركبات غير المرغوب بها والتي تعيق قياس قيمة لمعادلة بسهولة ولزمن يمكن القيام بالآتي

- ✓ الانتظار لحين انتهاء هذه الحالة العابرة "الحالة العابرة الأولى" لخاصية سلوك دائرة الـ RL circuit) وإحالة العائرة النسة النافذة عن عدم تشع القلب الحديدي للمحول "سواء إسهاء هذه الحالة العابرة تستقر قيمة التيار مما يتيح قياس قيمة المقاومة.
- ✓ المحافظة على ثابت قيمة تيار المحصن قدر الإمكان طوال فترة المحصن وذلك باستخدام مصدر تيار ثابت مُتحكم به.
- ✓ رفع قيمة تيار المحصن الوصول إلى تشع القلب الحديدي بشكل أسرع مع مراعاة عدم زيادته عن قيمة مُعيَّنة حتى لا يؤدي للإرتفاع درجة حرارة الملفات مما يؤثر على قيمة المقاومة المُقاسة
- ✓ بالإضافة إلى أساليب أخرى سيتم التطرق لها في نهاية الفصل مثل إضافة مقاومة خارجية (R_{External}) دائرة المحصن وذلك لرفع مقدار المقاومة الكلية وحفظ مقدار المحصن الرئيسي ($t = L/R$) مما يؤدي للوصول لحالة الإستقرار بشكل أسرع، أو زيادة عدد الملفات بمساعدة ملفات مولدية مرتفعة (HV assist) أو ما يُسمى بطريقته الـ (Dual winding)، وغيرها من الطرق كزيادة فونية المحصن المُعطلة على الملفات مما يزيد قوة الدافعة المعادلية ويؤدي للوصول إلى تشع القلب الحديدي للمحول بشكل أسرع.

الشكل (3-7) يوضح سلوك التيار والمولدية والمقاومة مع الزمن أثناء المحصن



الشكل رقم (3-7)



فائدة عملية: عادةً عند فحص ملفات المحول الموصولة بطريقة النجمة (Star - Y) فإن يقوم بتسخين قيمة المقاومة بعد (10s - 30s) ثانية وهو الزمن المأثر لثابت قيمة تيار الفحص، أما في حالة فحص ملفات المحول الموصولة بطريقة المثلث (Delta - Δ) فإن الزمن الثابت قيمة تيار الفحص والوصول إلى حالة التشنج المعطاطي للقلب المعدني قد يستغرق أكثر من ذلك حيث قد يصل إلى (30min - 60min) دقيقة وهذه القيم تختلف تبعاً لقدرة المحول (Rating) وتوصيلة الملفات (Winding configuration) وقيمته لتيار المحصول (Test current) كما ورد في [B. Hembruff, M Ohlen, P. Werelius, A Guide to Transformer Winding Resistance Measurements]

• كيف يدل هذا الفحص على وجود قطع كلي أو جزئي في الملفات:

كما هو معلوم أن قيمة المقاومة تعتمد على طول الموصل ومساحة مقطعه العرضي بالإضافة إلى مقاومة المادة الموصلة وفقاً للقانون التالي:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (3.8)$$

حيث:

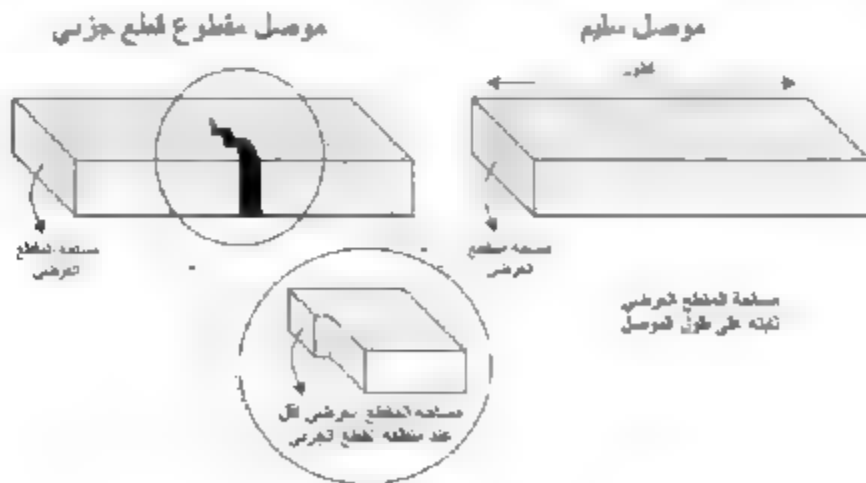
R : مقاومة الموصل (ملفات المحول)

ρ : المقاومة (Resistivity)

l : طول الموصل.

A : مساحة المقطع العرضي للموصل.

وفي حال حدوث قطع جزئي (Crack) مثلاً انصدت الموصلة ملفات المحول فإن مساحة المقطع العرضي لهذا الموصل ستنخفض - بما يعني زيادة في قيمة مقاومته وفقاً للقانون (3.8) سابق وكما هو موضح بالشكل (3-8)، ولهذا لإرتفاع في قيمة المقاومة يمكن معرفته وجود هذا النوع من الأعطال بمعدات المحول



الشكل رقم (3-8)

وهذا الارتفاع بالمقاومة في منطقة القطع الجري (Crack) سيؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة هذا الموصل مسبباً بدوره عوارب إحماء المعادن سابقة الذكر كما هو موضح في الشكل (3-9). تلك تُعا هذه العوارب سبب ظهورها مُجمعة في تحبب العوارب الدائمة في ريب المحول (DGA) إلى حدب ارتفاع درجة حراره المحول إحدى دلائل وجود هذا النوع من الأعطال في المحول.

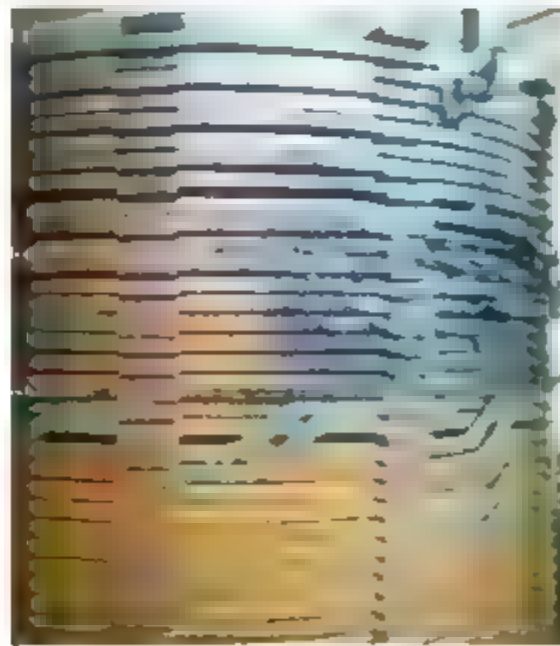


ملفات محول مقطوعة قطعاً جزئياً

الشكل رقم (3-9)

أم في حالة وجود قطع كلي للمعدن (Open circuit) فإنه من المتوقع عدم مرور تيار فحص من الأساس

لشكل (3-10) يُبيى ملفات فوئية مرفضة (HV winding) معطوبة ابوردة في [NICLAS GRÖNSTRÖM, Optimal Demagnetization of Transformer After Winding Resistance Measurements]



الشكل رقم (3-10)

والإضافة إلى ما سبق هالك إجراء أخرى غير لحقات يمكن لهذا الفحص الكشف عن لأخطاء بها مثل نقاط الالتقاء، موصلات عوارى، إلخ. في الحالات، ونقاط الالتقاء، لمبات، مقعير، خطوة كما هو موضح في الشكل (3-1)، فقد تعرض هذه النقاط للإرتداء (Loose) بين مساحة المقطع العرضي للكبل لمسار لسيار تقل فحدة مقاومة مرتفعة لهذه النقاط وقد يتبع عنها من حرارة وفقاً للشرح السابق، بالإضافة إلى حدوث تغيرات في هذه الوصلة المرتفعة مما يؤدي لإحماء إصافي.

أما فيما يخص شغير لحصوة (Tap-Changer) في العارات أدائه في الرت احص به واسا به عن عمليات التحويل لهذا المقعير قد نسب في ناكسد، سطح ملامسته أو براكم الكربون عليها، خاصة الحصى (Taps) الأس، استخداماً. وهذا بدوره يؤثر على قيمة المقاومة المقاسة سلفات كذا يمكن لكل ملامس شغير خطوة خاصة في المحولات القديمة أو ذات التحميل المرتفع التأثير على قيمة فحص مقاومة الملفات.

الشكل (3-11) (أ) بين ملامس معطوب لمحدد خطوة (Tap Selector). و الشكل (3-11) (ب) بين أثر استخدام على ملامس مفتاح تحويل (Diverter Switch) خاص بمقير حصوة (Tap-Changer) من نوع (OLTC) (أورده في [Raka Levi, Budo Milovic, OLTC Dynamic Testing])



- ب -



- أ -

الشكل رقم (3-11)

4. أمور لا بُد من مراعاتها قبل البدء بالفحص

4.1 استقرار درجة حرارة المحول

كما هو معلوم من قيمة المقاومة من الزمن أي تأثير والحرارة بشكل كبير، لذلك والحصول على قيمة مساوية من حيث حقيقة وأحد من تأثير درجة الحرارة على قيمة هذه المقاومة يجب لذلك من إسفرر درجة حرارة زيت وملفات المحول قبل القيام بالفحص، خاصة وأن هذا الفحص يهدف لقياس مقاومة ملفات المحول وهو بارد أو كما يسمى نص بفحص (Cold Winding Resistance Measurements)

وبقي لسؤال المطروح كيف يمكن التأكد من أن المحول وصل إلى مرحلته، استقرار لحرارة قبل البدء بالفحص؟

كثرت الأراء والمشاهد التي تؤكد أن المحول مُستقر حرارياً، فالرجوع إلى أشهر المعايير العالمية (Standards) يمكن القول أن المحول مُستقر حرارياً فيه، إذا تحققت وحدة من الشروط التالية

✓ عندما يكون مقياس التعتُّر في درجة حرارة الزيت العلوي (Top Oil Temperature) أقل من درجتين مئويتين كل ساعة من الزمن حسب معايير (Standards) معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]

✓ مرور قرينه ثلاث ساعات على عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization)، وذلك للمحولات التي لا تحتوي على مصححة زيت أي ذات نظام التبريد الذي يعتمد على دوران الطبيعي للزيت (Oil Natural - ON)، حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015].

✓ مرور قرينه الساعه على عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization)، وذلك للمحولات التي تحتوي على مصححة زيت أي ذات نظام التبريد الذي يعتمد على دوران القسري للزيت (Oil Forced - OF)، مع مراعاة إنهاء الفحص بالعمل بعد عزل المحول كهربائياً، في وقت مدته الفحص حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]

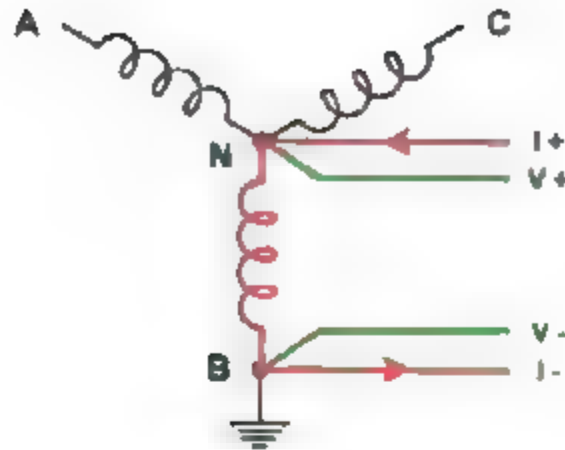
✓ عندما يكون مُتوسط درجة حرارة زيت، العلوي (Top Oil Temperature) والسفلي (Bottom Oil Temperature) مساوياً بشكل تقريبي لدرجة حرارة الملفات (Winding Temperature) حسب معايير اللجنة الكهرومغناطيسية الدولية [IEC 60076-1 2011]

✓ عندما يكون الفرق في درجة الحرارة بين زيت المحول، غاري (Top Oil Temperature) والسفلي (Bottom Oil Temperature) لا يزيد عن (5°) درجات مئوية حسب معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015].

4.2 توصيلة الملفات

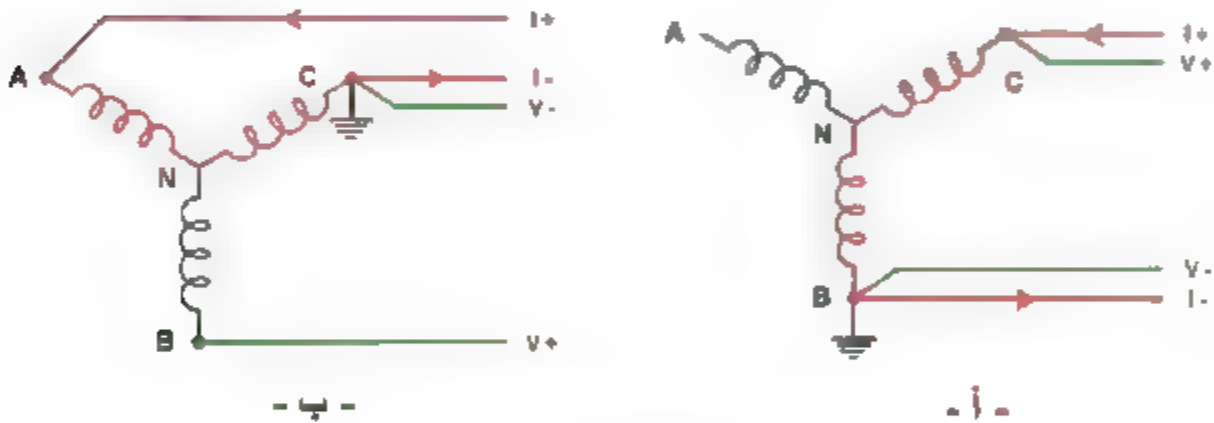
يجب مراعاة توصيلة ملفات المحول (Winding connection) المراد فحصها في عمل توصيلة لفحص كالتالي

- إذا كانت ملفات المحول الفراد فحصها موصولة بطريقة المجمة (Y - Star) مع إمكانية الوصول إلى نقطة التعادل (Neutral)؛ يتم الفحص بين طرف الخط (Line) ونقطه التعادل (Neutral) وذلك بحسن بيار الفحص بملف واحد فقط كما هو موضح في الشكل (12-3).



الشكل رقم (3-12)

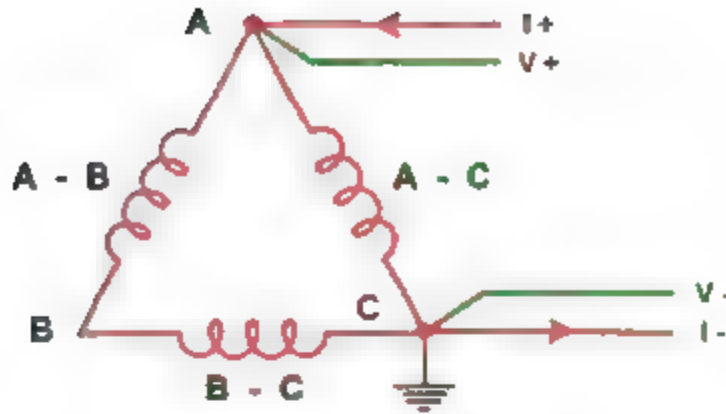
- إذا كانت ملفات المحول المُراد فحصها موصولة بطريقة النجمة (Star - Y) مع عدم إمكانية الوصول إلى نقطة التعادل (Neutral)؛ أي أن ملفات المحول موصولة بطريقة النجمة د حللياً ونسعى لتعديل غير صافهه يُمكن قياس قيمة المعاوقة (C-N) مثلاً بجرأء لخصص بتدريستين موضحتين في الشكل (3-13)



الشكل رقم (3-13)

في الطريقة الموصحة بالشكل [(3-13) (أ)] يتم حقن التيار الثابت عبر الأطراف (C-B) أي خلال ملفين وقياس قيمة الهبوط بالفولتية على لأطراف (C-B) وحساب المقاومة ثم يتم قسمتها على (2) للحصول على قيمة المعاوقة (C-N) فقط، أما في الطريقة الموصحة بالشكل [(3-13) (ب)] فإنه يتم حقن التيار ثابت عبر لأطراف (A-C) أي خلال ملفين وقياس قيمة الهبوط بالفولتية على الأطراف (C-B) والتي تساوي صمياً الهبوط في اعوائية على لأطراف (C-N) لأنه هو فقط الملف المشحون كما هو مَين في الشكل السابق ومن ثم يتم حساب المقاومة (C-N).

- إذا كانت ملفات المحول المُراد فحصها موصولة بطريقة المثلث (Delta - Δ)؛ يجب إجراء الفحص بين أطراف الخط (Line)، حيث أن المقاومة لقياسه لا تُعبر عن قيمة مقاومة المصنف المعجوبة فقط وذلك سائر مقاومة الملفين الأخرين على قيمة المقسومة مقاسة كما هو مَين بالشكل (3-14) التالي



الشكل رقم (14-3)

كما هو مبين في الشكل السابق فإنه يُرَد قياس مقاومة الملف (A-C)، ولكن عند قياس المقاومة باستخدام هذه التوصيلة فإن قيمة مقاومة الملفين (A-B و B-C) لن تدار على التوالي مع الملف الفراد فيس مقاومتها (A-C) يؤثر على قيمة هذه المقاومة لأن دارة المحصص «يُفَرِّقُ» لئلا نحاول على معرفة مقاومة الملفات حسابياً باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{Resistance per winding (A - C)} = 1.5 \times \text{Measured Resistance value} \quad (3.9)$$

ملحوظة (3-2): يمكن الاعتماد على الصيغة السابقة في حال كانت قيمة مقاومة الألفوار الثلاثة المتصلين المتوصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) متساوية كما هو الحال في أغلب المحولات، أما إذا كانت يتم المقاومة مخدعة فيه يُجاء إلى طرق أخرى أكثر تعقيداً لمعرفة قيمة المقاومة لكل ملف على حدا



- إذا كانت المحول الفراد فحصه محول تلقائي (Autotransformer) أي أن الملفات متصلة بطريقة النجمة (Star - Y)؛ فتقوم بالفحص بين أطراف ملفات العولتية المرتفعة (HV) وأطراف ملفات العولتية المتوسطة (IV) ومن ثم بين أطراف ملفات المتوسطة (IV) وأطراف ملفات العولتية المنخفضة (LV).

ملحوظة (3-3): في حال كانت الملفات المفحوصة تتكون من عدة ملفات فرعية أي في حالة وجود مُعَيِّر حَلَوَة (Tap Changer)، فإنه يجب عمل الفحص على جميع الخطوات (Taps).



4.3 تسجيل درجة الحرارة

يجب تسجيل درجة حرارة الجو المحيط (Ambient Temperature) وكذلك درجة حرارة الملفات (Winding Temperature) قبل البدء بالفحص وذلك بأخذ قيمة حرارة الملفات عبر مؤشر درجة

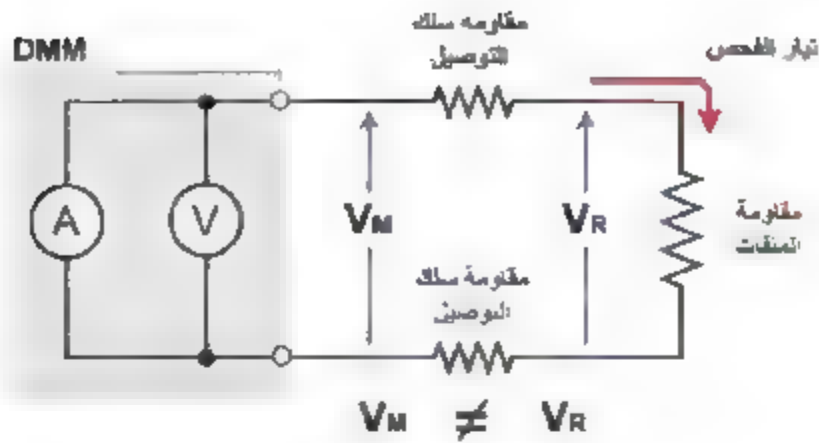
لحرارة الخوص بالأميعة (Winding Temperature Gauge) ولتثبت على جانب المحول في لوحة التحكم الخاصة بالمحول، وفي حال تعدد أحدى فإنه يتم بسمه متوسط درجة حراره ريب الخاص بالمحول عبر مؤشرات درجة حراره لريب ككل أو العلوي و السفلي (Top/Bottom Oil Temperature Gauges)، كما وتحتل الإشارة إلى طرفه غير دقيقه لأحد درجة حراره في حال وجود مشكله في مؤشر درجة حراره وذلك عن طريق وضع بقياس درجة حراره (Thermometer) على جدران حوائج المحول بشكل ملاصق للحصول على درجة حراره اعلمات بشكل دوري في حال كان المحول مستمر حرارياً كما ذكر في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Std C57.152-2013).

5. طرق الفحص

هناك عدة طرق يمكن من خلالها إجراء هذا الفحص بحيث يتم اعتماد الطريقة وفقاً لتجهيزات الموحود، الموضوع وتوفرية المعدات اللازمة لهذا الفحص بالإضافة إلى مقدار المقاومة الخرد قياسها بديه من طريقة المباشرة أو كما تسمى (Voltmeter-Ammeter (Kelvin) Method)، حيث تُعد من أسعد الطرق وأقدمها لإجراء هذا الفحص إلى جانب الطرق التي تعتمد على لساظر (Bridges) مثل قنطرة كلفين/تومسون (Kelvin/Thompson Bridge) التي يتم استخدامها للمقاومات لأص من (10) أوم، أو قنطرة وتستون (Wheatstone Bridge) للمقاومات الأكبر من (10) أوم. أما حالياً فإن أجهزة لفحص الإلكترونيه الرقمية (Digital Electronic Milli-Ohmmeters) هي الأكثر شيوعاً لقياس قيمة المقاومات الصغيره كمقاومة ملفات المحول والتي سيتم التطرق إلى كيفية استخدامها في لفحفات

5.1 الطريقة المباشرة – Voltmeter-Ammeter Method

هناك عدة طرق لقياس المقاومة بشكل مباشر، فمباشرة تعتمد على طريقة زوح لأسلاك القياس (Two Wires Method) كما هو الحال في أجهزة لقياس الرقمية (Digital MultiMeter - DMM) وسعة الإشارة، ففي هذه الأجهزة يتم حمل بئر ثابت (DC Current) وقياس الهبوط في العولتية على أطراف المقاومة المراد فحصها عبر نفس الزوح من لأسلاك (Test Leads) كما هو مبين في الشكل (3-15)، و نظراً لمرور تيار الفحص مُرتفع في هذه الزوح من أسلاك القياس فإن قيمة الهبوط في عولتيه المُقاسه (Measured Drop Voltage - V_M) لا يعكس مقدار الهبوط بالعولتية على المناومة (Voltage Across Resistance - V_R) المراد فحصها فقط وإنما تحتوي كذلك الهبوط بالعولتية الناتج عن مرور تيار زوح أسلاك الفحص (V_{Leads} - Leads Drop Voltage) كما هو موضح بالشكل (3-15)، حيث تُقدر قيمة مقاومه أسلاك الفحص عادة (100mΩ - 1000mΩ) مبي أوم وهي قيمة مُرتفعه ومن شأنها التأثير على قيمة المقاومه المراد فحصها خاصة إذا كانت هذه المقاومه ذات قيمة قليلة، حيث أن هذا فيما يخص مناومة مقدارها (10) باستخدام هذه الطريقة (Two wires method) وكانت قيمة مناومة زوح أسلاك التوصيل (Test leads) قرابة (100mΩ) فإن مقدار الخطأ في لقياس (Measuring Error) سيساوي قرابه (10%) بالمئه وهي قيمة مُرتفعه.



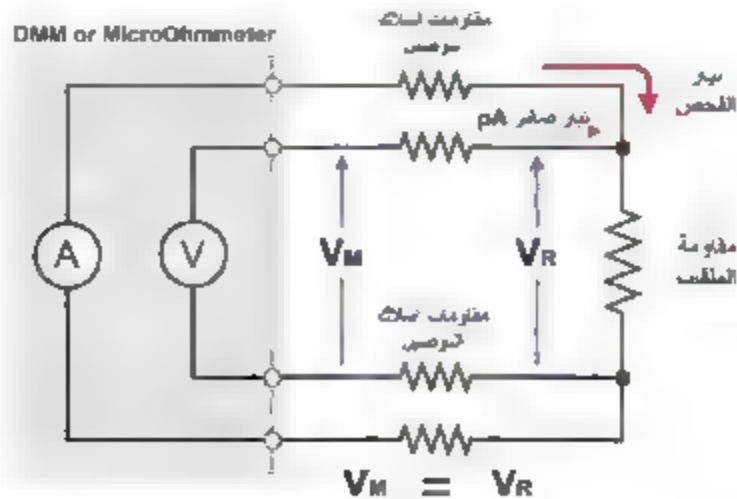
الشكل رقم (3-15)

حيث:

$$R_{Measured} = \frac{V_{Measured}}{I} = R_{Winding} + R_{Leads} \quad (3.10)$$

يُمكن لملاحظة من المعادلة (3.10) السابقة أن قيمة المقاومة المقاسة تساوي قيمة مقاومة المقياس مدبهاً، أيها قيمة مقاومة أسلاك التوصيل، وما يعي قيمة مقاومة منهج غير دقيقة خاصة إذا كانت قيمة مقاومة هذا المنهات قليلة.

أما في المقصودات الصغيرة كما هو الحال في مقياس المحول يتم الحول بطريقة قياس أخرى تستخدم زوجين من أسلاك التوصيل بوضوحاً عن زوج واحد (Four Wires Method) أو كما تُسمى (Kelvin Method) حسب معيار معهد مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013]، حيث يتم حقن المقاومة المراد فحصها بتيار ثابت (DC Current) عبر زوج من أسلاك التوصيل (Current Test Leads) وقياس الجهد في التوازي على طرفي المقاومة المراد فحصها عبر زوج آخر من الأسلاك (Voltage Test Leads). و عبراً للتيار القليل المار في زوج الأسلاك محققين لقياس الجهد والتي عادة ما يكون بال (picoAmpere - pA) يكون أسير بين التهجئة باهرلتيه ناتج عن سروره بمقاومة أسلاك التوصيل يُصبح ذو قيمة مهمة ولا يؤثر على قيمة المقاومة المقاسة كما هو موضح في الشكل (3-16)



الشكل رقم (3-16)

ومنه يمكن اعتماد هذه الطريقة (Four Wires Method) لقياس مقاومة ملفات المحوّل ذات القيمة لقليله وذلك لإدخالها مرتفعة مقدرة مع نظرتها ذات لروح من الأسلاك (Two Wires Method) سابقة الذكر.

■ التّعدات المستخدمة بالفحص

○ مصدر كهربائي (Power Supply): مصدر تيار ثابت مُتحكّم به (Regulated Constant Current DC power supply) ذو مستوى فولتية و تيار مناسب، ويُمكن أيضاً استخدام بطارية (12V) فوّت لإجراء هذا الفحص كما يجب التّأكد من أن هذا المصدر لمتحكّم به مُعايير (Calibrated)

○ أسلاك توصيل (Test Wires): يجب مراعاة الأمور الآتية عند اختيار تركيب أسلاك التوصيل الخاصة بهذا الفحص:

■ يجب استخدام أقصر ما يمكن من أسلاك التوصيل وذلك لتجنب تأثير المجالات من خطوط القربية (OHL) المشحونة، بالإضافة لتقليل تأثير مقاومته الأسلاك على المقاومة بهائنة المُقاسة خاصة رُوح الأسلاك المخصّص لقياس الفولتية اثثة (Voltage Test Leads). وفي حال كانت لأسلاك الطويلة ولا يُمكن جعلها أقصر، يجب وضع الرّائد منها هريفة صوية حملاً إلى جيب وعدم لفتها على شكل ملف (Coil) مما يُصعب محالة غير مرعوب بها لدائرة الفحص

■ مراعاة اختيار مساحة مقطع لأسلاك فيما يتناسب مع قيمة تيار الفحص

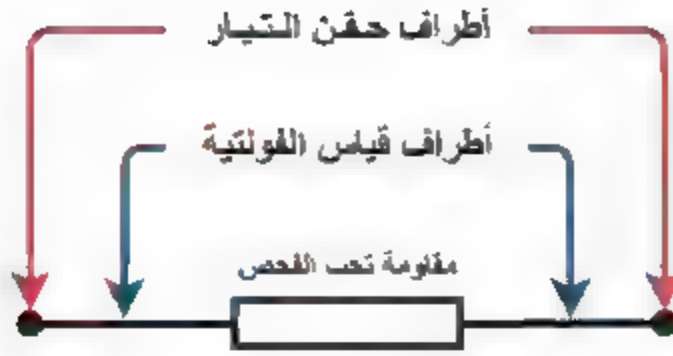
■ تجنب وصل أسلاك الفحص بالمفاتيح المُفرد قياس مساوئها عبر موصلات إضافية أو قضبان (Busbars) بل يجب توصيلها بالمعدات مباشرة عبر أطراف الموصلات الموجودة أعلى عزل الإحتراق (Bushing)

■ يجب توصيل الأسلاك بالرّسبة الخاصة بها أو ما يُسمى المشبك أو الملقط (Clamp or lugs) فيما إذا كانت (Spade-lug, Clip, Kelvin Clamp, ... etc) عن طريق اللحام تجنب حدوث قطع أثناء الفحص لما لذلك من مخاطر كبيرة سيتم شرحها

■ التّأكد من نظافة موصل عوارل الإحتراق (Bushings) قبل تركيب مشبك أو ملقط أسلاك لتوصيل عليه (Test Leads Clamp) حتى لا يؤثر على نتيجة الفحص

■ التّأكد من التّثبيت السّليم للرّسبة/مشبك أسلاك لتوصيل على موصلات عوارل الإحتراق (Bushings) لتجنب سقوطها وفتح الدّائرة أثناء فحص وذلك يكون عبر وضع برغي على رأسه أسلاك التوصيل خاصة ذات النوع (Spade or Fork lug) أو عبر استخدام مشبك صناعي على شكل حرف (C) أو كما يُسمى (C Clamp) يشبه الحديد لأسلاك لتوصيل بأطراف الملف كالموصلات الموجودة على أعلى عارل الإحتراق (Bushing)

■ التّأكد من أن تكون أطراف قياس الفولتية محصورة بين أطراف حقل التيار أي أنها أقرب لمقاومة المُراد فحصه وهي ملفات المحوّل في حالت هذه كـ هو موضح في الشكل (17-3)



الشكل رقم (3-17)

كما ويمكن أن يكون زوجي أسلاك لموصل الحاصه بحقن التيار وسيس الفولتيه عن نفس المشنت أو الرئيسية كم هو موضح بالشكل (3-18)، مع مراعاة النقطة سديقة بحيث كون أسلاك قدس لىوتية أقرب للملفات، كما ويسمح بأن تكون أسلاك قياس الفولتية متباعدة مع أسلاك حقن التيار أي تفصلهما زاوية مقدارها (180°) درجة كد هو الحال بالمشابك (Clamps) من النوع (C) والنوع (Kelvin)



الشكل رقم (3-18)

- جهاز قياس تيار ثابت (DC) رقمي (Digital Ammeter) دقة عالية (high Accuracy) وكلاك ذو مدرج (Scale) مناسب لقيم الفحص، كما يجب التأكد من أنه مُعبر (Calibrated)
- جهاز قياس فولتية ثابتة (DC) رقمي (Digital Voltmeter): دقة عالية (high Accuracy) وكلاك ذو مدرج (Scale) مناسب لقيم الفحص، كما يجب التأكد من أنه مُعبر (Calibrated)

○ مفاتيح تحكم (Switches): مفاتيح سلكي رباعي لأقطاب معزول (4 Poles Knife Switch) ومفتاح سلكي ثنائي الأقطاب معزول (2 Poles Knife Switch) مناسبين، بالإضافة إلى التأكد أنها لا تحتوي على مُصهر (فيوز).

○ ساعة إيقاف (Stopwatch) لقياس الزمن اللازم للوصول لحالة الاستقرار بعد البدء بالمحصى.

○ مقاومة غير حثية إضافية (Non-inductive External Resistor): ذات قيمة كبيرة مقارنة بقيمة مقاومة ملفات المحول وذات المساعدة في الوصول لحالة استقرار التيار في وقت أقصر نسبياً لم يتم شرحه مسبقاً حول المعامل الزمني (t) والتي تعتمد على قيمة حثية والمقاومة (L/R)، حيث سيزداد المقاومة تقل هذا المعامل الزمني مما يؤدي للوصول إلى حالة الاستقرار برمن أقل، فمثلاً لو كانت قيمة مقاومة الملفات (0.5Ω) أوم وتم إضافته مقاومة خارجية لمائرة الفحص على لتواي مع مقاومة الملفات مقدارها (1Ω)، سيدها سرور نفس المعامل الزمني بمقدار الثلث وتقل الزمن الكلي للوصول إلى حالة الاستقرار ثمانية الخمس أثلث ($5/3$) على اعتبار زمن الاستقرار عند ($5t$) للدوائر (Series R-L).

كما سيتم استخدام هذه المقاومة للتحكم والحد من قيمة تيار الفحص (Current Limiting) في حال كانت قيمة المقاومة المُقاسة قليلة جداً وكان مصدر الفولتية بطارية أو أي مصدر فواتية آخر غير مُتحكم به، حيث أنه عند تطبيق فواتية ثباته (DC Voltage) مقدارها ($12V$) ذوات غير مُتحكم بها (يستخدم بطارية مثلاً) على ملفات محول مقومها ($20m\Omega$) مبي أوم قرر تيار مُتوقع قُربه ($600A$) وهو تيار كبير جداً وقد يُلحق الضرر بالملفات والمصدر الكهربائي، واحد من قيمه هذا التيار يتم إضافته هذه المقاومة الحثية لحد ثرة الفحص والتي تعتمد قيمتها على قيمة تيار الفحص المُزددة. فهي المثال لسبق كانت فواتية الفحص ($12V$) فواتية ومقاومة الملفات ($20m\Omega$) وإذا أردنا تيار فحص مقدارها ($1A$) أمبير فيجب إضافة مقاومة خارجية لمائرة الفحص قراءة (12Ω) أوم مع مراعاة قدرة هذه المقاومة على تبديد الحرارة (Resistor Wattage). ويجب مراعاة الحاجة إلى فواتية ثباته (DC voltage) أكبر من ($12V$) فواتية في بعض الأحيان وذلك لمعويض هبوط الفولتية الناتج من المقاومة المُضافة لدائرة الفحص أما في حال استخدام مصدر كهربائي ذو تيار ثابت مُتحكم به (Constant DC Current Source) فإنه لا يلزم إضافة مقاومة خارجية لحد ثرة الفحص.

• طرق تبريد الطاقة المُخترنة بالملفات بعد انتهاء الفحص.

عند إجراء هذه فحص وينتج عنه ملفات المحول تيار فحص ثابت (DC current)، تنشأ طاقة مُخترية في هذه الملفات تناسب طردياً مع قيمه هذه الملفات وقيمته مُربع تيار الفحص وفقاً للمعادلة التالية

$$\text{Stored Energy} = \frac{1}{2} I^2 L \quad (3.11)$$

وكما هو معنوم أن اطاقة المخزنة في المحاثه (Inductor) يتم تدريعها عند فتح الدائرة الخاصة به (Open circuit) عن المقبض من المكثبات (Capacitors) والتي تحدح لا ثره قصر حتى يتم التفريغ (Short circuit) وللتخلص من هذه الطاقة المخزنة بعد الإنهاء من الفحص يجب السياء بواحدة من الطرق التالية وذلك عن طريق دمجها بدائرة الفحص كالآتي:

طريقة القصر – Short Circuit Method

في هذه الطريقة يتم قصر أطراف المقبض (Short circuit) بعد الإنهاء من الفحص ومن فتح دثره الفحص الرئيسية كما هو مبين في الشكل (3-19) حيث أن لأجراء دالون الأحمر تشير لثدره تفريغ، ويصاح تيار التفريغ 'وكما يمكن سمسها بالصفة المختزنة لموسول إلى مسود قليل جداً (5t) وهو تقريباً نفس الرمز اللارة لإستقرار التيار عند إجراء الفحص وذلك بطراً نسب قيمه المعامل الزمني (t) لحالتي كما هو مبين في معادله اسمه وعددة ما يكون زمن التفريغ من (30s) ثانية إلى قرابة الدقيقتين (2min)

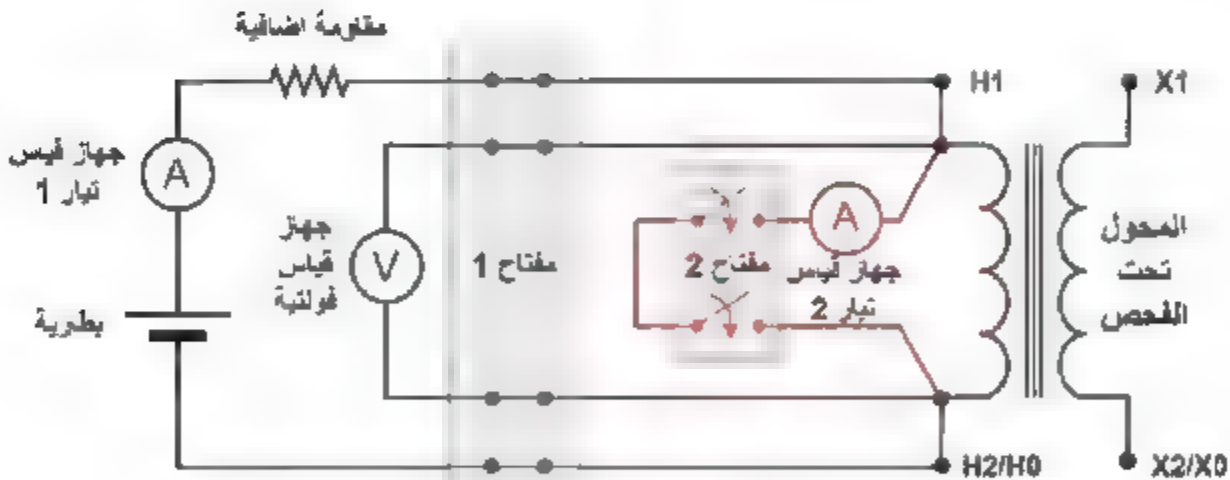
$$t = \frac{L}{R} = \frac{L}{R_w} \quad (3.12)$$

حيث:

t : المعامل الزمني لدائرة الـ (Series R-L).

L : قيمة المحاثه. (Henry)

R_w : قيمة مقاومة الملفات. (Ω)



الشكل رقم (3-19)

كما هو مبين في الشكل (3-19) بعد إجراء فحص مقاومة المقبض (WRM) وتسجيل قيمه مساومه احساب شوم بإغلاق المنبج رقم (2) ومن ثم يقوم بصح المنبج رقم (1) والإسطار حتى يصل تيار في وصبه القصر إلى الصغر عنر جهاز قياس التيار رقم (2)، بعد ذلك يمكن فتح المنبج رقم (2) مع مراعاة عدم النظر مباشرة لشدة القوس الكهر في التي سيطهر لمدة قليلة من الزمن قرنة مذنية الواحدة، ويُفضل إغلاق وفتح المنبج رقم (2) أكثر من مرة للتأكد من التفريغ كامل

المنعكس، بعد ذلك يُمكن إزالة أسلاك التوصيل الخاصة بالفحص بحدود وقتها لتطور لأخر المفرد
فحصه

□ طريقة مقاومة التفريغ - Discharge Resistor Method

في هذه الطريقة يتم قصر أطراف المنعكس (Short circuit) بعد الانتهاء من الفحص وفصل فتح
دائرة الفحص الرئيسية عن غرار الطريقة أساسية ولكن بوجود مقاومة تفريغ (R_D) للتقليل من
رغم التسريع كما هو موضح في الشكل (3-20) حيث أن لأجزاء دليون الأحمر تشير إلى دائرة التفريغ،
فكما ذكر سابقاً أن قيمة المعادن الزماني (t) تعتمد على قيمة المقاومة فتعد تعويض قيمة مقاومة
تفريغ (R_D) في المعادله (3.12) السانقة عوضاً عن المقاومة (R) وبطراً لأن مساوية التفريغ أكبر
من مقاومة المعادن فإن المعادن الزمن سيتم ومنه نسل امدت الازمة لتفريغ ووصول بمر
تفريغ القيمة دليلة حياً فترة الصغر. ومنه سبق يُمكن ملاحظة أنه كلما كانت هذه المقاومة أكبر
كلما قل الزمن اللازم للتفريغ ولكن بالمعنى فإن القيمة الكبيرة لهذه المقاومة سوف تؤدي ظهور
فولتية مرتفعة على أطرافها وفقاً للمعادلة التالية.

$$V_D = I_T \cdot R_D \quad (3.13)$$

حيث:

V_D أعلى مقدار فولتية سيظهر على أطراف مقاومة التفريغ

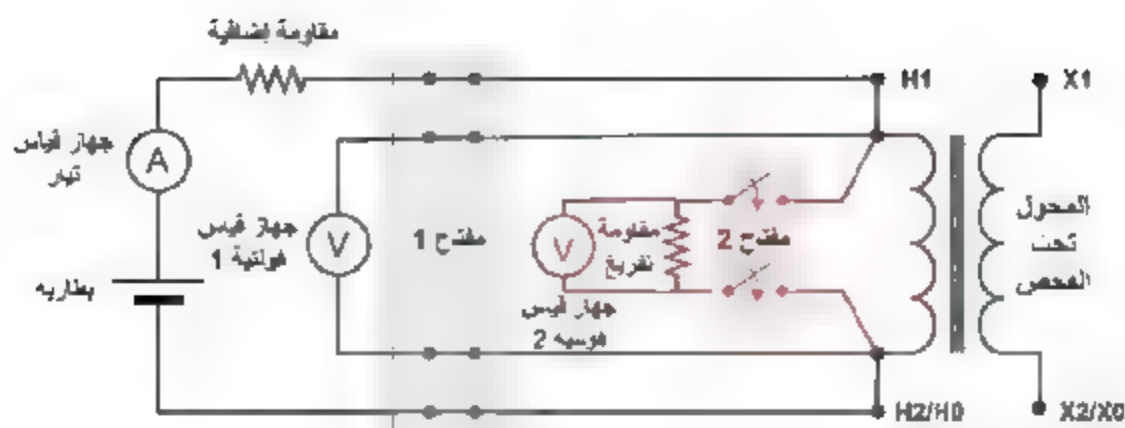
I_T تيار الفحص.

R_D مقاومة التفريغ

لذلك والتحديد قيمة هذه المقاومة (R_D) يُمكن تحديد قيمة الفولتية العظمى التي ستظهر على
أطرافها ومنه يُمكن معرفة قيمة هذه المقاومة وفقاً للمعادلة (3.14) على فرض أن الفولتية العظمى
مُرادها على أطراف مقاومة التفريغ (R_D) ولا يجب تجاوزها هي (50V) فونت كمثال.

$$R_D = \frac{50}{I_T} \quad (3.14)$$

وهنا بدوره يُفسر ظهور شرارة قوس كهربائي كبيرة عند فتح دائرة الفحص دون وجود دائرة تفريغ،
حيث أنه عند فتح لدائرة كما واث أصعب مقاومة تفريغ (R_D) وبميتها لا تهدية (ص) ومن المعادلة
(3.14) أساسية يُمكن ملاحظته تأثير مقاومة التفريغ اللانهاية على قيمة لفولتية على أطراف
مقاومة التفريغ أو الأطراف لمتنوحه في حالت هذه، حيث ستكون الفولتية بالكيلوفولت وهو
سبب ظهور القوس الكهربائي سابق الذكر

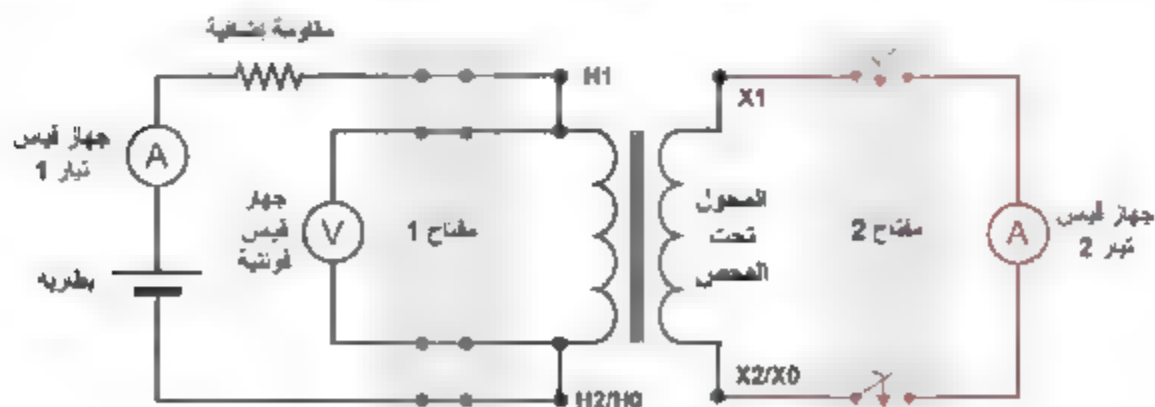


الشكل رقم (3-20)

كما هو مبين في الشكل (3-20) بعد إجراء فحص مقاومة الملفات (WRM) وسحب قيمة مقاومة الملفات نقوم بإغلاق المفتاح رقم (2) ومن ثم نقوم بفتح المفتاح رقم (1) والانتظار حتى نحصل قيمة مقاومة على أطراف مقاومة التفريغ (R_D) إلى الصفر غير مباشر المقاومة رقم (2)، بعد ذلك يمكن فتح المفتاح رقم (2) مع ملاحظة عدم الخطر مباشرة بشبكة القوس الكهربائي التي ستظهر بعدة قليلة من الزمن قرصه الثاني أو واحد، ويُفصل إغلاق المفتاح رقم (2) أكثر من مرة للتأكد من التفريغ الكامل للملفات، بعد ذلك يمكن إزالة سلاسل التوصيل الخاصة بالفحص ونقلها للطور الآخر الفراد فحصه

طريقة التفريغ بواسطة الملفات الثانية على نفس الطور - Second Winding Method

في هذه الطريقة يتم قصير (Short circuit) أطراف الملفات الأخرى على نفس الطور (أي التي لم يتم فحصها) بشكل مؤقت، فمثلاً لو قمنا بإجراء فحص مقاومة ملفات (WRM) على أطراف الوصلية المرتفعة (H1 و H2) يتم قصير أطراف الوصلية المنخفضة (X1 و X2) مع مراعاة أن تيار ملفات الوصلية المنخفضة سيكون أكبر تبعاً لنسبة التحول الخاصة بالتحول والعكس بالعكس في حال فحص ملفات الوصلية المنخفضة والتفريغ على ملفات الوصلية المرتفعة



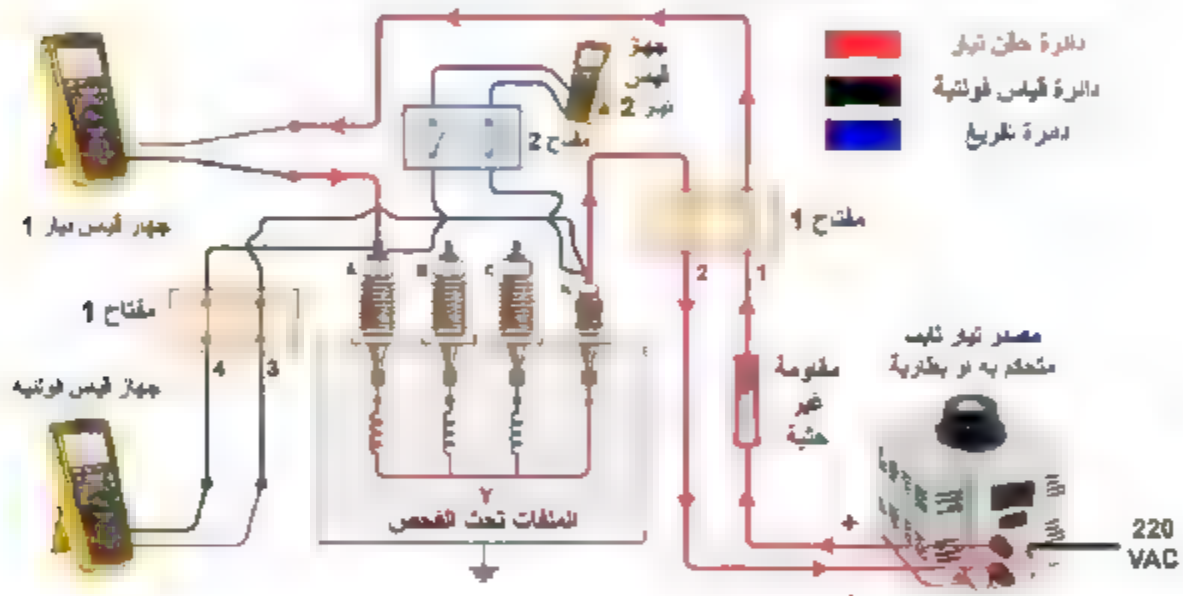
الشكل رقم (3-21)

شكل (21-3) لسابق يوضح اتوصيله الخصبه بحصص مقدومة المضافات مصفاً اليه طريقه التسريع هذه واحضر إليها اللون الأحمر، بحث سيجي عملية التفريع بعد وصول قسمة التدر للصفير غير مقياس التيار رقم (2).

● توصية الفحص

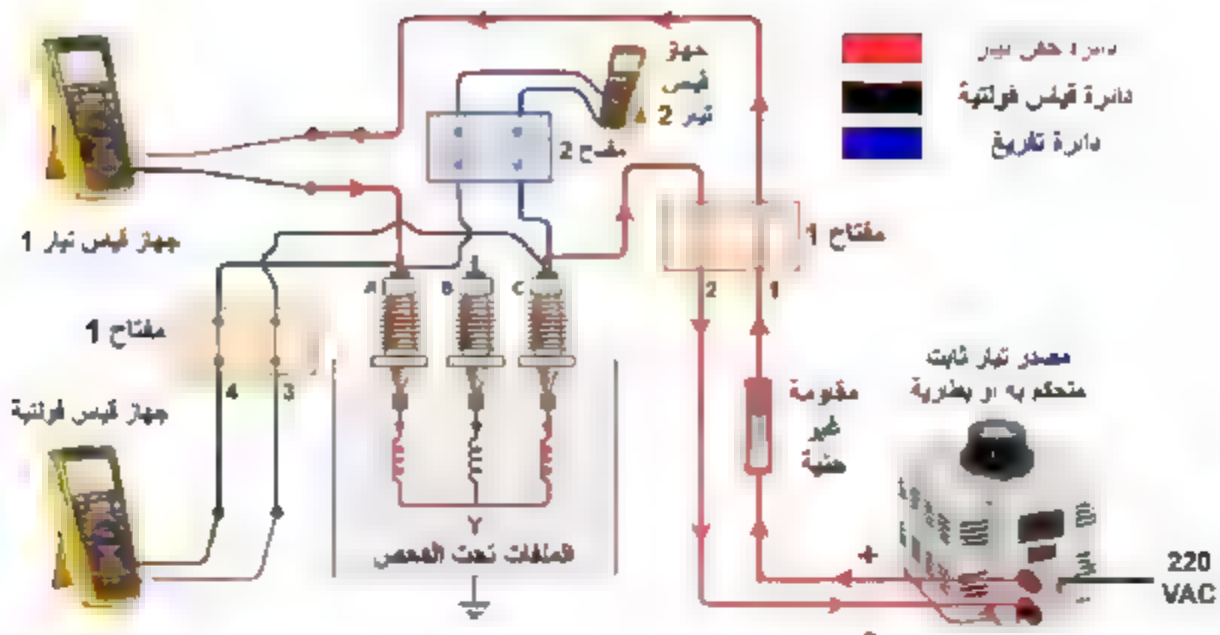
تعتمد توصيلة المحصر على التوصيل "المحلي للمغناطيس" المحول "فردا فحصة". وتلخص توصيلات هذا المحصر لمحولات ثلاثية الصور ثنائية المغناطيس (Three phase two winding) ثلاث توصيلات رئيسية موضحة أدناه، بحيث يتم عمل هذه التوصيلات مع مرعاه أن يكون مصدر الطاقة آخر شيء يتم وصله بالدائرة لأسباب متعلقة بالسلامة العامة.

- في حال كانت ملفات المحول المُراد فحصه موصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع نقطة تعادل (Neutral Point) يُمكن الوصول إليها بوضوح بشكل (22-3) توصيله لفحص لفيس مقاومة ملف المحول (A-N)



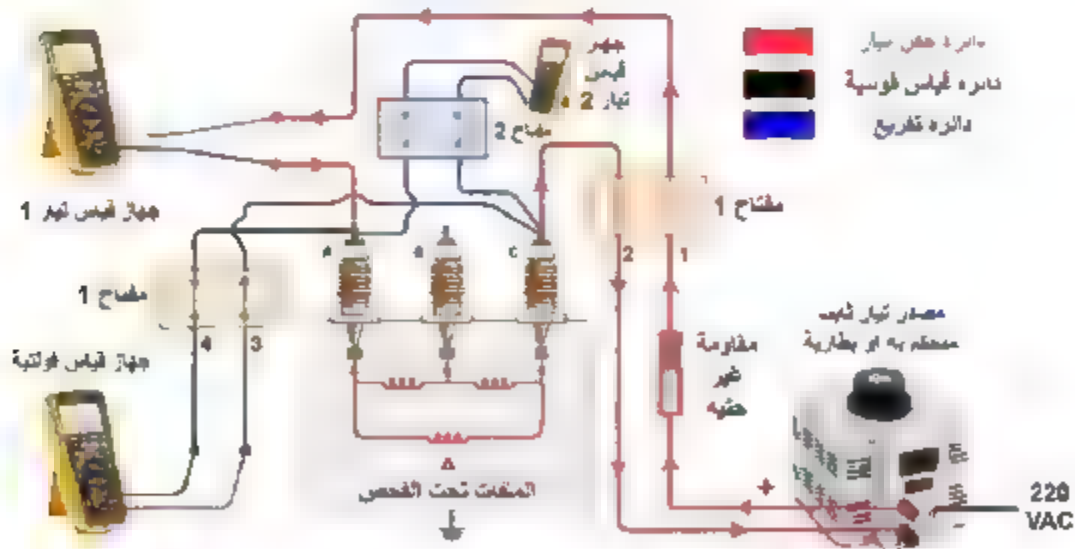
الشكل رقم (3-22)

- في حال كانت ملفات المحور الفراد فحصبه موصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع نقطة تعادل (Neutral Point) لا يُمكن الوصول إليها (أي أنه موصول بطريقة النجمة (Star) داخياً) يوضح شكل (3-23) توصيله فحصبه لقيس بمعومه نصف محور (A-N) أو (C-N)، وفي هذه التوصيلة يتم قسمة قيمة المعومة المقاسة (A-C) على العدد (2) للحصول على قيمة المقاومين (A-N) و (C-N)



الشكل رقم (3-23)

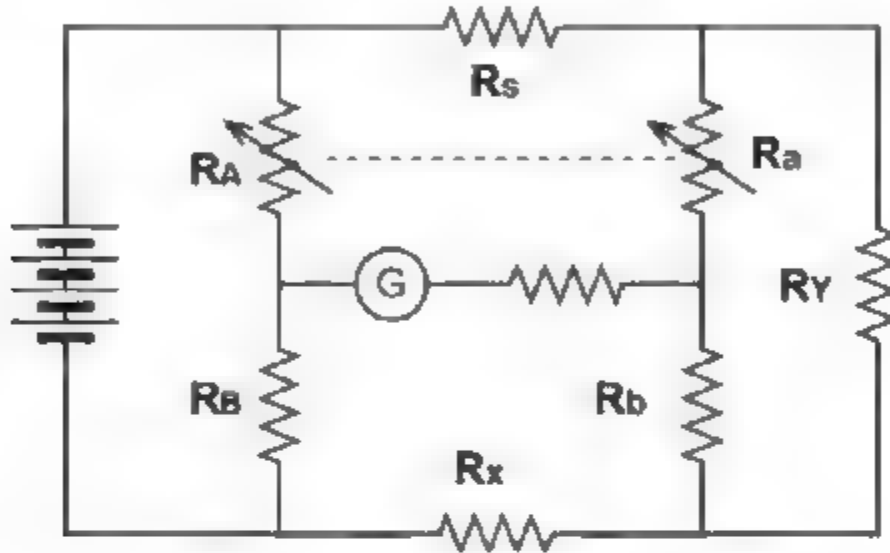
في حان كانت ملفات المحول الفراد فحصة موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) يوضح لشكل (3-24) توصيلة القياس لمقاومة ملف 'محول (AC)، وفي هذه التوصيلة يتم حساب قيمة المقاومة المقاسة ($AC/(AB+BC)$) ب (15) للحصول على قيمة مقاومة الملف (A-C) كما تم ذكره سابقاً



الشكل رقم (3-24)

5.2 قنطرة كيلفين/نومبسون - Kelvin/Thompson Bridge

يتم استخدام هذه القنطرة لقياس مقاومة ملصقات لمحول الأقل من (1Ω) أوم وتُعد أحد أشكال طريقة لروحيين من أسلاك. لتوصيل لقياس "المقاومة" و كما تُسمى (Four Wires Method)، كما ويعتمد بعض أجهزة الفحص في أنة عملياً على هذه النوع البسيط من جهاز الفحص (Transformer Ohmmeter) لفحص توصيله شركة (MEGGER) رائدة في مجال صنع أجهزة القياس. لشكل (3-25) يوضح لتوصيله الخاصة بهذه القنطرة.



الشكل رقم (3-25)

$$R_x = R_s \left(\frac{R_B}{R_A} \right) \quad (3.15)$$

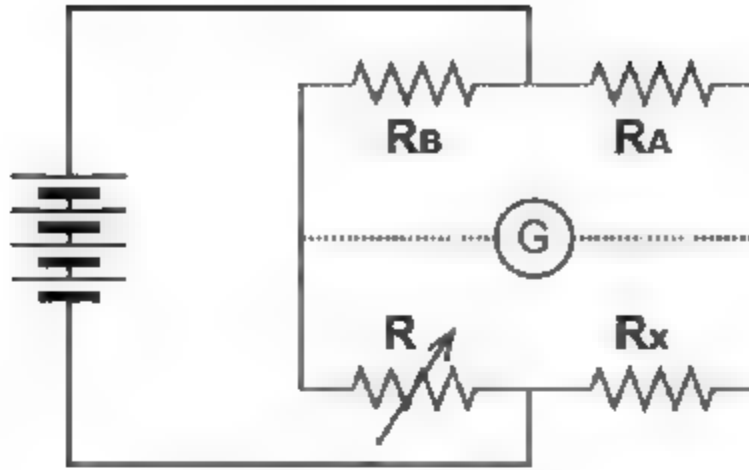
حيث:

$$\{ R_B = R_b, R_A = R_a \}$$

وتُعتبر لمقاومة (R_x) في شكل السابق عن معادله ملصقات لمحول لفرد معرفه قيمتها.

5.3 قنطرة وُستون - Wheatstone Bridge

يتم استخدام هذه القنطرة لقياس المقاومات ذات القيمة المسموية أو الأكبر من (1Ω) أوم وتُعد أحد أشكال طريقة لروحيين من أسلاك. لتوصيل لقياس "المقاومة" أو كما تُسمى (Two Wires Method)، والشكل (3-26) يوضح لتوصيله الخاصة بهذه القنطرة.



الشكل رقم (3-26)

$$R_x = R \left(\frac{R_A}{R_B} \right) \quad (3.16)$$

وتُعتبر المقادير (R_x) في شكل السابق عن مقاومة منبع لمحول المُراد معرفة قيمها

5.4 الفحص باستخدام جهاز الـ (Milli-ohmmeter)؛ حيث سيتم التوديع لاحقاً خطوات

لفحص في الملحق رقم (3-2) في حال استخدام جهاز الفحص (Transformer Ohmmeter AVTM830280) المُصنَّع بواسطة شركة (MEGGER)، و المالحق (3-3) في حال استخدام جهاز لفحص (Transformer Ohmmeter MT0210) المُصنَّع بواسطة شركة (MEGGER)، و الملحق (3-4) في حال استخدام جهاز الفحص (TESTRANO 600) المُصنَّع بواسطة شركة (OMICRON)

تحذير: لا تحقق أسرار في الملفات عبر مُصهرات (فوزز) و وحدث يجب إعادتها بعض وصله قصر عيني (Jumper)، وذلك لأن نريد من احتمالية حدوث فتح (Open circuit) في دائرة الفحص وهو من الأمور الخطيرة خاصة إذ حدث ذلك أثناء مرور التيار الثابت (DC)



تحذير: عند القيام بهذه الطريقة يجب توخي الحذر من فتح الدائرة أثناء حقن التيار الثابت (DC current) قصداً أو دون قصد كسقوط أسلاك توصيل الخاصة بفحص السر عن طرف المحول والذي من شأنه عمل صدمة حثة (Induction Kick) المُعبد والأشخاص، وكذلك يجب تجنب الفصل لمقاطع أسلاك مما يؤدي إلى ارتفاع الفولتية وإحراق الصر بالمصدر الكهربائي أو المقاومة الموصولة على التوالي، كما ويُصبح بعض المنفات (Short circuit) قس فصل المصدر الكهربائي كما هو مودمج في الأشكال (3-22, 23 & 24)، أو غير استخدام (Surge or Transient Protector) مناسب كما ويُصبح بفصل طرف قياس الفولتية من البدء بفحص أسلاك وصل فصله لتجنب أي صر قد تُصيب جهاز الفحص (Voltmeter) (مهم جداً)



6. خطوات الفحص

الخطوات التالية تم وضعها بالاعتماد على المعيير الخاصة بمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE C57 152-2013] بالإضافة إلى الخبرة العملية في إجراء هذا الفحص في الموقع

6.1 عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع سباعدة تطبيق نظام (قفلاً، مصادراً لطاقة ووضع لافتات عليه) أو ما يُسمى بنظام التناقل (Lock-out Tag-out LOTO)

6.2 عزل نظام مكافحة الحريق بأغلاء (أو كما يُسمى بنظام قترن حزن المحول ومنع إنتشار الحريق) لحصر بالمحول أفراد فحصه بحشيه عمل النظام بشكل حاطلي أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي لمخاطر الهوس الكهربائي وما ينطوي عليه من مخاطر على الأشخاص أو المحول خاصة أثناء تطبيق الوسائل على المحول أو قد يؤدي إغلاء انهيار جهاز الفحص نفسه

6.3 تطبيق كافة إجراءات السلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية المُصنَّعة في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Recommended Practices for Safety in High-Voltage and High-Power Testing] و المعهد الوطني الأمريكي للمعايير [ANSI National Electrical Safety Code] و مُنظمه إدارة السلامة وصحة المهنة [OSHA Specifications for Accident Prevention Signs and Tags]

6.4 لتأكد من توصيل حزن المحول (Transformer Tank) والسلب الحديدية (Iron Core) بالأرض، طبقة مدة الفحص

6.5 فتح أطراف الفوتية المستخدمة (LV side terminals) و فوتية المرتفعة (HV side terminals) وذلك برأفة الموصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) كذاً لحل بنقطة التعادل (Neutral point) للمحول إن وجدت

تحذير: يجب تاريس كوابل الفولتية المرتفعة بما عر مُستعجلات التاريس الثابتة (Earthing Dis-connector) أو المنقلبه (Portable) قبل الدأ بفك هذه الكوابل عن عورل إحترق المحولات (Bushings)، وذلك لف قد نحويه من فوتيه حثية (Induction voltage) ناتجة عن المُعدلات أو الحظوظ الهوائية (Overhead Lines - OHL) المجاورة للمحول الفراد فحصه والمشحونة بفولتيات مرتفعة



6.6 فصل أنه أجزاء ثانوية مُرتبطة بملفات المحول من محولات فولتية (Voltage Transformers) وحديقة (مائعة) الصواعق (Surge Arresters) و المُكثفات (Capacitors) أو أية عدادات (Meters) وغيرها من الأنظمة الثانوية كوجود المُتحسسات الخاصة بقياس التفريع الحثي (PD Couplers)

6.7 تفريع أشعرات الفخزبه ملفات المحول قبل الفحص (Trapped Charges) وذلك بعمل قصير لملصقات (Short circuit) وتاريسها لمدة من الزمن كما سيتم شرحه في آخر الفصل

6.8 مراعده أن تكون باقي الصفات الخاصة بالمحول مفتوحة (Open circuit) أثناء الفحص

6.9 عمل التوصية الخاصة بهذا المحص كما تم شرحه مسبقاً في فقرة توصية فحص بعد التأكد من توصف أطراف المحو، التي سيتم التوصيل عليها حتى لا تؤثر على قيمة الفحص

6.10 تحديد مستوى تيار المُردد حسبه أُحدى بعين الاعتبار قيمه لمقاومه اُفراد قياسه ولتوصيه، فكلما رفعنا قيمه تيار، زادت قيمه القويته عند فحص نفس المقاومه في نفس درجة الحرارة (قانون أوم) لذلك يجب الموازنة بين التيار المحقون والعولتية.

بعد إختيار قيمة تيار الفحص يجب مراعاة الآتي:

✓ أن تكون قيمة تيار الفحص أكبر من قيمة تيار التهييج (Excitation Current) للمحول المقدر (2-4) مرات وذلك لتحقيق التشبع المغناطيسي للقلب الحديدي.

✓ عادة ما يكون تيار الفحص من (10% - 0.1%) بالمئة من التيار الاسمي للمحول

✓ أن لا يتجاوز تيار الفحص ما يصارده (15%) بالمئة من التيار الاسمي لما لا يك من تأثيرات حررية سلبية على دقة الفحص كرفع درجة حررر المفاات واختلاف قيمة المقاومة كم ورد في معيار الصادر عن معهد مهندسي الكهروء والإلكترونيات [IEEE, C57.12 90 2015]

وهناك بعض الإقتراحات العامة لقيمة تيار الفحص كالآتي:

✓ إذا كانت قيمة المقاومة المُراد قياسها أكبر من (100mΩ) مي أوم، (10A) أمبير أو أقل من ذلك تعتبر كافية

✓ إذا كانت قيمة المقاومة المُراد قياسها أقل من (100mΩ) مي أوم، (20A - 50A) أمبير يُمكن أن تكون كافية، مع مراعاة عدم ارتفاع لتيار عن (15%) بالمئة من التيار الاسمي كم ذكر مسبقاً.

فمثلاً لو أردنا قياس مقاومة ملفات محو، وكما على نعلم مُسبق أن قيمة مقاومه هذه الملفات (100mΩ) على أوم (بواسطة محوومات القصيفة أو الموقعت، أو محوومات سبعة وكان التيار الاسمي لهذه الملفات (500A) أمبير في هذه الحالة يُمكن اختيار تيار الفحص يكون (10A) أمبير أي قُربه (2%) من التيار الاسمي لتكون فولتية الفحص (1V) فولت.

وأكثر في حال كانت قيمة مقاومة الملفات غير معروفة، يُحدد بناءً بقيمة تيار مدققة قُربة (0.1%) ولإزالة اُحدى استقرار قيمة التيار والمقاومة، وفي حال عدم الاستقرار يتم رفع قيمة التيار قليلاً وشكل مُنارح إلى حين، يستقرر المسحة مع مراعاة عدم زياده تيار عن القيم المسموح بها

6.11 في حال تم استخدام الطريقة المباشرة (Voltmeter-Ammeter Method) وعمل إحدى اتوصيلات في الأشكال (3-22, 23&24) السابقة يجب اتباع خطوات لتعيينه التاليه واحصيه بالتوصية الموصحة في الشكل (3-22) كمثال.

✓ إغلاق المفتاح رقم 1 والإبقاء على المفتاح رقم 2 مفتوح

✓ في حال استخدام مضارة كمصدر فولتية فحص يتمثل للنقطة الثانية، أم في حال استخدام مصدر تيار ثابت (Regulated DC Power Supply) يجب تشغيل المصدر الكهربائي وبدء تطبيق الفولتية وفقاً لنوع المصدر للوصول لتيار الفحص المُراد.

- ✓ تشغيل ساعة الإنعاف (Stopwatch) في 'احفظه' بخلاق 'المفتاح رقم 1' في ح 4، يستخدم بصرية كمصدر، أو عند بدء حقن البير في حال استخدام مصدر تيار ثابت محكم به (Regulated DC Power Supply) لقياس الزمن اللازم لاستقرار التيار.
- ✓ الإنتظار حتى ثبات قيمة التيار و'عوائيه' ومن ثم قراءة وتسجيل قيمتهما عن جهاز قياس ليار 1 و جهاز قياس العوائيه، بحيث يتم أخذ أربع قراءات العوائيه واليار على الأقل ومن ثم حساب المتوسط لهذه القراءات لوصول إلى قيمة اعقاسه لأقرب موقع
- ✓ بعد الإنتهاء من الفحص وحساب قيمة اعقاسه، يقوم بإغلاق 'الفحص رقم 2' بواسطة عصا معزولة (Insulated Stick) وفتح المفتاح رقم 1 لبدء عملية التفريغ
- ✓ عند ملاحظة وصول ذروة جهاز قياس التيار 2 و'خاص بآثره لتفريغ (البض)' إلى الصفر يُمكن فتح المفتاح رقم 2 بواسطة عصا معزولة مع مراعاة عدم النظر مباشرة لشعارة القوس الكهربائي التي ستظهر لرمن قليلاً جداً قرابة الثانية (1s)
- ✓ إغلاق مفتاح رقم 2 وفتح نفسه 'الطريقة' عدة مرات للتأكد من أن الباترة متفرغه تماماً
- ✓ إزالة أسلاك التوصيل عن أطراف المنفذ (موصّل أعلى عازل الاحتراق) بحذر والإنتقال للمنفذ التالي المراد قياس مقاومته

6.12 في حال كانت الحملات المتعوضه تكون من عدة ملفات فرعية أي في حالة وجود مُعير خطوة (Tap-Changer) يجب مراعاة الآتي.

- ✓ يُفترض تحديد جميع الخطوات العائيه بالدور (A) مثلاً، ثم الإنتقال بالدور الآخر وفحص جميع حصوته (Taps) وهكذا، وذلك لكسب الوقت اللازم لتنشع المعطاطيسي بالنسب الحديدي.
- ✓ إذا كان مُعير الخطوة من نوع (DETC or OCTC) وبعد الإنتهاء من الفحص عن جميع الخطوات (Taps)، يجب إعداد الفحص بعد إرجاع وصفيه مُعير الخطوه (DETC) إلى الخطوة المرجعيه أو انشعائيه (Reference Tap) أي الذي كانت عليه المنفذ قبل الفحص وذلك لتأكد من عدم وجود فتح في الباترة (Open circuit) قبل كهرته المحول (Transformer Energization)
- ✓ فمثلاً لو كانت وصفيه مُعير الخطوه (Tap-changer) للمحول في حاله لتشغيل طبيعي عند الخطوه رقم (3)، و أردنا فحص مقاومه الملفات عند جميع الخطوات نُفصل أن يكون ترتيب الفحص كالتالي (3→5→4→3→2→1) على اعتبار أن مُعير الخطوه ذو خمس خطوات (5 Taps)، أي يجب الإنتهاء بالخطوه رقم (3) للسبب المذكوره سابقاً
- ✓ يجب فصل مصدر التيار من معير وصفيه مُعير الخطوه (Tap-changer) لتجنب حدوث شرارة قوس كهربائي من شأنه إلحاق الضرر بملامماته و'مقاومته' الدخليه.
- ✓ معرفة نوع مُعير الخطوه (Tap-changer) فيما إذا كان خطي (Linear) أو ذو تبديل عكسي (Reverse) أو غيره من الأنواع كالنوع (Fine/Coarse)، وذلك لتكوين تصوّر أولي عن نمط قراءت المقاومه الناتجه من الفحص كما سيتم شرحه لاحقاً في فقرة تحليل نتائج الفحص

6.13 بعد الانتهاء من الفحص، يتم ما (أي على جميع الملفات ولأطوار) يقوم بفريق لفك وتلك من عمل وصله، يحمل أو وصله بالأرض وكذا يجب التخلص من تعبط القلب الحديدي (Core Magnetization) وذلك وفقاً للظروف التي يتم شرحها سابقاً فيما يخص فريق لفك وتلك من لفك سيتم شرحه فيما يخص طرق إزالة تعبط القلب الحديدي (Core De-magnetization) علماً بأن فريق لفك (Winding Discharge) يتم عمله بعد فحص كل سعة والإنتقال المصنف الأخير وبعد الانتهاء من الفحص تبدأ أمانة إزالة تعبط القلب (Core De-magnetization) فيه يتم عملها مرة واحدة بعد الانتهاء من الفحص تبدأ أي على جميع الملفات والأطوار

تحليل: لا يتم بطلان (Turn-off) مصدر الطاقة (DC Power Supply) أثناء ترويضه لئلا يصاب المحول لأنه لن يتحمل التبريد الصادر عن هذه الملفات



تحليل: لا تُترك على التوالي في دائرة الفحص تحت أي ظرف من الظروف لأسباب متعلقة بأسالة العامة، والمقصود هنا أنه لا يجب أن تتسبب في أي طرف عزل الإحتراق بين واحدة وبالبداية الأخرى أحد أطراف التوصيل الخاصة بالفحص (حتى وإن كانت دائرة الفحص مغلقة).



فائدة عملية: تعديل نسبة الحث في الفحص يجب مراعاة قياسية المعطاة للقلب الحديدي (Polarity of Magnetization) أثناء القيام في الفحص أي تثبيت اتجاه حث تيار التيارات، أفراد فحصي وذلك للتوصل إلى حالة تشبع القلب الحديدي (Core Saturation) بشكل أسرع كما ورد في معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013]



7. تصحيح القيمة المقاسة

يُعد هذا الفحص من الفحوصات التي تتأثر قيمتها بتغير درجة حرارة المادة الموصلة تحت الفحص والتي تمثل بدرجة الحرارة المحيطة بالمحول، بعد استقرار درجة حرارة المحول كما تم ذكره مسبقاً، هناك حاجة لمعادلة يتم استخدامها، المادحة عن هذا الفحص يتم فهمها "القول لمصنعيه (Factory Acceptance Test - FAT) أو الموقعيه (Site Acceptance Test - SAT) أو غيرهما من القيم المرجعية كنتاج الفحوصات الروتينية الساعية (Routine Test) لهذا الفحص، يجب تصحيح قيم المقاييس الناتجة من الفحص إلى درجة الحرارة المرجعية القياسية وهي عادة واحدة من هذه القيم التالية (20° أو 75° أو 85°) درجة مئوية حسب المعهد الوطني الأمريكي لمعيار (ANSI) وغيرها من المعايير العالمية وعدد ما يتم اعتماد درجة الحرارة المرجعية (75°) درجة مئوية الفحوصات لفصليته (FAT)، بحيث يتم التصحيح عبر تطبيق المعادلة (3.17) التالية ووردة في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013]

$$R_T = R_m \cdot \frac{(T_T + T_k)}{(T_m + T_k)} \quad (3.17)$$

حيث:

R_T قيمة المقاومة نسبة للحرارة المرجعية (القيمة الخُراد حسابها)

R_m قيمة المقاومة المُقاسة.

T_T حرارة المرجعية (20° أو 75° أو 85°) درجة مئوية

T_m الحرارة التي تم قياس المقاومة عندها

T_k نسوي (234.5°) درجة مئوية للحاس و (225°) درجة مئوية للألومنيوم، وقد نص (230°) درجة مئوية للألمنيوم المخلوط ببعض المعادن (Alloyed Aluminum)

مثال: تم قياس مقاومة ملفات نحاسية المحوّل وكانت النتيجة ($50m\Omega$) مي أوم عند درجة حرارة منفب (30°) درجة مئوية، وعادار مقارنة قيمة المقاومة المُقاسة مع قيمة مقاومة الملفات الواردة في فحص القبول المصنعي لهذا المحوّل (FAT) فتم تصحيحها لدرجة الحرارة المرجعية علماً بأن درجة الحرارة المرجعية الفحص، قبول المصنعي (FAT) مساوية لـ (75°) درجة مئوية.

الحل:

قيمة المقاومة المُقاسة عند (30°) درجة مئوية تساوي ($50m\Omega$) مي أوم

درجة الحرارة المرجعية (75°) درجة مئوية

نوع الملفات نحاسية.

بالرجوع للمعادلة (3.17)

$$R_{75^\circ} = R_{30^\circ} \cdot \frac{(T_{75^\circ} + T_{234.5^\circ})}{(T_{30^\circ} + T_{234.5^\circ})}$$

$$R_{75^\circ} = 50m\Omega \cdot \frac{(75^\circ + 234.5^\circ)}{(30^\circ + 234.5^\circ)}$$

$$R_{75^\circ} = 58.51m\Omega$$

بعد ذلك يُمكن مقارنة قيمة المقاومة المُقاسة بعد تصحيحها لدرجة الحرارة المرجعية (75°) درجة مئوية مع قيمة المقاومة الواردة في فحص القبول المصنعي (FAT) عند درجة الحرارة المرجعية دوماً (75°).

كما ونجدر للإشارة إلى أنه في حال معرفة نتيجة مقاومة الملفات بين الأطوار المختلفة (Phases comparison) لا يلزم تصحيح الحرارة قبل المُقارنة وذلك لأن الحرارة عند قياس مقاومة المنفب الأطوار الثلاثة تكون تقريباً متساوية

8. تحليل نتائج الفحص

بروح قيعة مقاومة ملفات المحوّل من بضع عشرات من الملي أود إلى عدة أومات (Ohms)، ولتحليل قيمة مقدّومة المعطيات المُقدّمة بعد تصحيحها كما ذُكر سابقاً يُمكن دماغ وحدة من الطرق التالية

8.1 الطريقة الأولى: مقارنة نتائج الفحص بنتائج فحوصات القبول المُصنّعة (Factory Acceptance Test - FAT) أو القويّعة (Site Acceptance Test - SAT) أو غيرها من السليم المرصّعة كسحب الفحوصات الروتينية السابقة (Routine Test) لهذه المحوّل بنسبة تماثل قريبة (5%)، أمثلة أو أقل كما ورد في معايير معهد مهندسي الكهربيّة والإلكترونيّات (IEEE Std C57.152-2013)، و بنسبة تماثل (1%) بالأمثلة كما ورد في الدراسة الصادرة عن المجلس السوي للأمنه الكهربيّة كبيرة [CIGRE Guide for Transformer Maintenance 445]

8.2 الطريقة الثانية: مقارنة نتائج الفحص بنتاج فحص لمحوّل فُشله تماماً (Twin or Sister) بنسبة تماثل قرابة الـ (2%) بالأمثلة أو أقل.

8.3 الطريقة الثالثة: مقارنة نتائج الفحص بين الأنماط المختلفة بنسبة تماثل قريبة من الـ (2%) بالأمثلة ولا تتجاوز الـ (5%) بالأمثلة من القيمة كما ورد في معيار معهد مهندسي الكهربيّة والإلكترونيّات (IEEE Std C57.152-2013)، و بنسبة تماثل (3% - 2%) بالأمثلة كما ورد في الدراسة الصادرة عن المجلس السوي للأمنه الكهربيّة كبيرة [CIGRE Guide for Transformer Maintenance 445]

وفي حال قياس مقاومة ملفات محوّل وكاب، للملفات موصولة على شكل نجمة (Y - Star) وكاب نقطة الممر (Neutral point) غير ظاهرة (أي أنه موصول، بنقطة النجمة داخياً) وفي حال كان ملفات لمحموصه موصلة على شكل مثلث (Delta - Δ)، يُمكن الإعتماد على الجدول (1-3) لمعرفة أخطاء قراءات الفحص الأكثر شيوعاً في حال وجود عطل في الملفات، ولتحديد نوع العطل الداخلي لمحوّل فيما إذا كان قطع كلي (Open circuit) أو حرجي (Crack) أو هالك فيصّر في الملفات (Short circuit) أو وجود عطل موصلي، رديته يُمكن الإعتماد على الجدول (2-3).

الجدول رقم (3-1)

	توصيلة الملفات	نجمة - Y - Star			مثلث - Δ - Delta		
		قيمة المقاومة (L-L) حسابياً					
		$R_{AB} = R_{BC} = R_{AC} = 1\Omega$	$R_{AB} = R_{BC} = R_{AC} = 0.33\Omega$				
		$R_{AC} = \infty$	$R_{BC} = \infty$	$R_{AB} = 1\Omega$	$R_{AC} = 1\Omega$	$R_{BC} = 0.5\Omega$	$R_{AB} = 0.5\Omega$
النمط الأول	نمط القيمة معدية	إحدى قيم مقاومة (L-L) طبيعية، و قيمتين لا يمكن قياسهما (مقاومة كبيرة جداً)			قيمة مقاومة (L-L) أكبر من القيمة الطبيعية بثلاث مرات، وقيمتين أكبر من القيمة الطبيعية بمرة ونصف		
		$R_{AC} = \infty$	$R_{BC} = \infty$	$R_{AB} = \infty$	$R_{AC} = \infty$	$R_{BC} = \infty$	$R_{AB} = 0.5\Omega$
النمط الثاني	نمط القيمة المقاسة	جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة لا يمكن قياسها (مقاومة كبيرة جداً)			قيمة مقاومة (L-L) أكبر من قيمته الطبيعية بمرة ونصف، وقيمتين لا يمكن قياسهما (مقاومة كبيرة جداً)		
		$R_{AC} = 0.9\Omega$	$R_{BC} = 0.9\Omega$	$R_{AB} = 1\Omega$	$R_{AC} = 0.29\Omega$	$R_{BC} = 0.32\Omega$	$R_{AB} = 0.32\Omega$
النمط الثالث	نمط القيمة المقاسة	إحدى قيم مقاومة (L-L) طبيعية، و قيمتين أقل من قيمته الطبيعية			جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أقل من القيمة الطبيعية، وتكون إحدى هذه القيم أقل من الآخرين		
		$R_{AC} = 0.9\Omega$	$R_{BC} = 0.8\Omega$	$R_{AB} = 0.9\Omega$	$R_{AC} = 0.28\Omega$	$R_{BC} = 0.28\Omega$	$R_{AB} = 0.31\Omega$
النمط الرابع	نمط القيمة المقاسة	جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أقل من القيمة الطبيعية، وتكون إحدى هذه القيم أقل من الآخرين			جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أقل من القيمة الطبيعية، وتكون قيمتين من هذه لسيه أقل من القيمة الثالثة		
		$R_{AC} = 1.1\Omega$	$R_{BC} = 1.1\Omega$	$R_{AB} = 1\Omega$	$R_{AC} = 0.38\Omega$	$R_{BC} = 0.34\Omega$	$R_{AB} = 0.34\Omega$
النمط الخامس	نمط القيمة المقاسة	إحدى قيم مقاومة (L-L) طبيعية، و قيمتين أكبر من قيمته الطبيعية			جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أكبر من القيمة الطبيعية، وتكون إحدى هذه القيم أكبر من الآخرين		
		$R_{AC} = 1.1\Omega$	$R_{BC} = 1.2\Omega$	$R_{AB} = 1.1\Omega$	$R_{AC} = 0.39\Omega$	$R_{BC} = 0.39\Omega$	$R_{AB} = 0.35\Omega$
النمط السادس	نمط القيمة المقاسة	جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أكبر من القيمة الطبيعية، وتكون إحدى هذه القيم أكبر من الآخرين			جميع قيم المقاومة (L-L) الثلاثة أكبر من القيمة الطبيعية، وتكون قيمتين من هذه لسيه أكبر من القيمة الثالثة		

* الأرقام الواردة في الجدول أعلاه (قيم المقاومات) عبارة عن أمثلة لمعايات الشرح فقط

الجدول رقم (2-3)

النمط*	نوع العطل المتوقع
الأول	1. وجود فتح في الدارة ناتج عن قطع في نقاط التوصيل بين ملفات المحول و موصلات عوازل الإحتراق أو مُغيّر الخطوة على أحد الأطوار. 2. أحد ملفات المحول الثلاثة مقطوع قطع كلي (طور واحد). 3. عطل داخلي في مُغيّر الخطوة على أحد الأطوار.
الثاني	1. وجود فتح في الدارة ناتج عن قطع في نقاط التوصيل بين ملفات المحول و موصلات عوازل الإحتراق أو مُغيّر الخطوة على طورين. 2. مغيين من ملفات المحول الثلاثة مقطوعين قطعاً كلياً (طورين من ثلاثة). 3. عطل داخلي في مُغيّر الخطوة على طورين.
الثالث	1. وجود قصر في أحد ملفات المحول الثلاثة (طور واحد).
الرابع	1. وجود قصر في مغيين من ملفات المحول الثلاثة (طورين من ثلاثة).
الخامس	1. وجود نقاط توصيل رديئة بين أسلاك المحصر و موصل على طور واحد. 2. وجود نقاط توصيل رديئة داخل المحول، كمنصة للإتساء موصل عازل الإحتراق بموصلات ملفات أو دفلة توصيل ملفات مُغيّر الخطوة بين طور واحد. 3. وجود قطع جزئي بالملفات على طور واحد.
السادس	1. وجود نقاط توصيل رديئة بين أسلاك المحصر و موصل على طورين. 2. وجود نقاط توصيل رديئة داخل المحول، كمنصة للإتساء موصل عازل الإحتراق بموصلات ملفات أو نقطة توصيل ملفات مُغيّر الخطوة على طورين. 3. وجود قطع جزئي بالملفات على طورين.

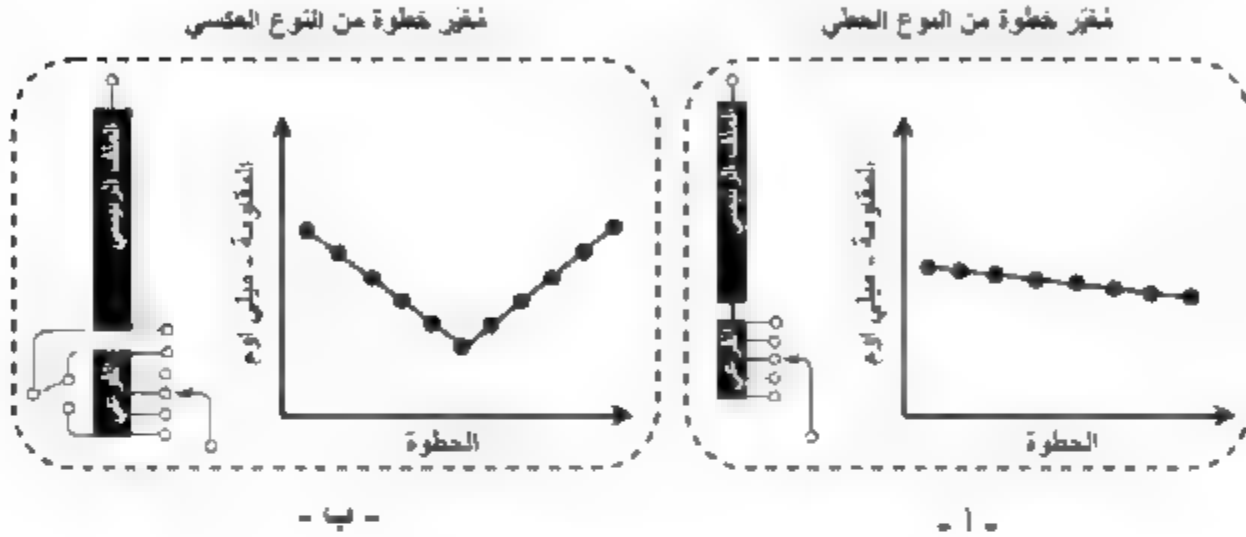
*يمكن الرجوع للجدول (3-1) لمعرفة رقم النمط ونوعه.

ملحوظة (3-4): عادة ما تكون قيمه معاومه ملفات المحرّتيه المرتفعه (HV Winding) أكبر من قيمته لملفات المولتيه المنخفضه (LV Winding) طرأً أكثره عدد الملفات ويصغر حجم المفتّح اموصلات هذه الملفات، لذلك فإن المغيّر يطبق على قيمة هذه المقاومه الكبيره الخاصه بملفات المولتيه المرتفعه تنتج لوجود مشكله في المصنّف قد لا نلاحظه بسهولة على العكس من معاومه ملفات المولتيه المنخفضه (LV Winding) ذات المقاومه اصغر و قريبه بجمع ملي أوم والتي يسهل إكتشاف تعيّر الطلّيف في قيمها



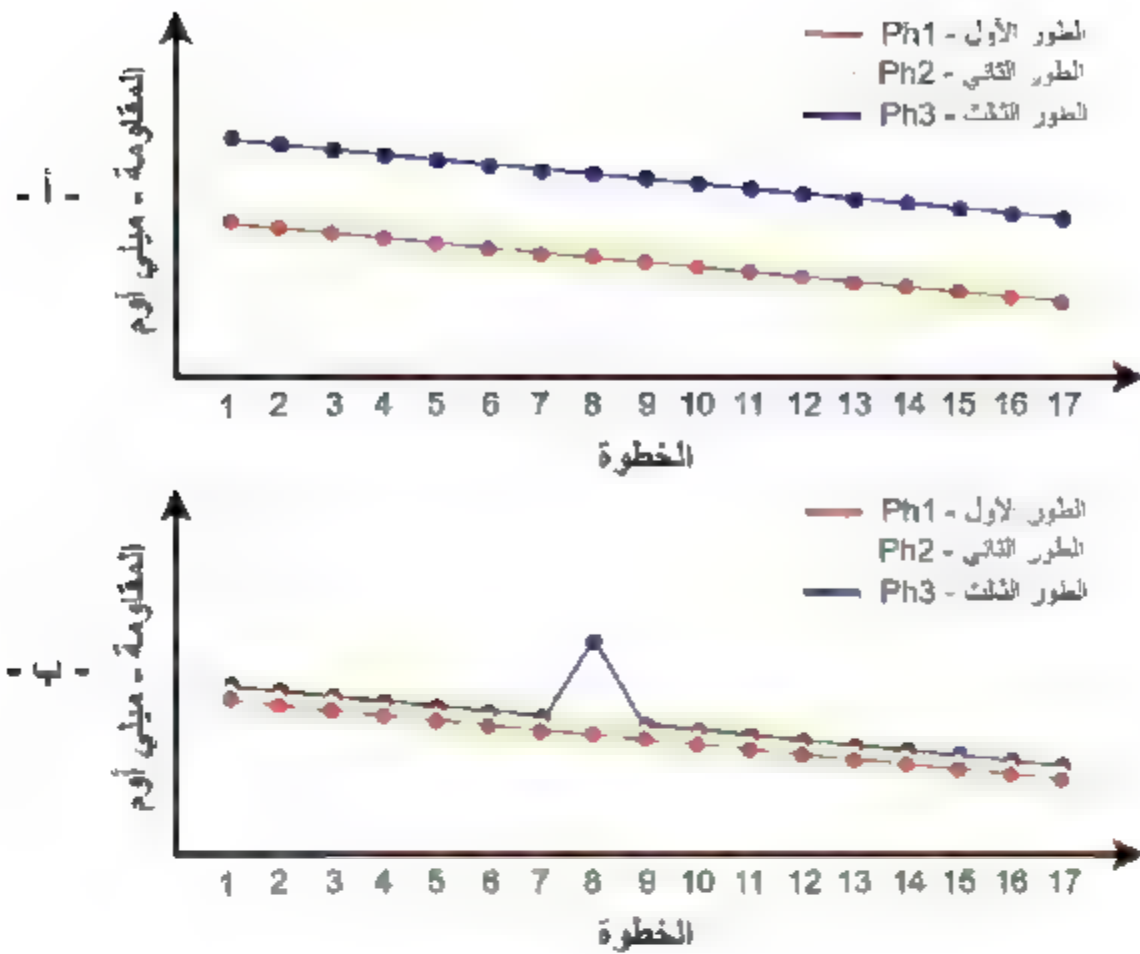
عند تحليل نتائج فحص مقاومه الإسانيك (Static Winding Resistance Test) بملفات محول تتكون من عدة خطوات (أي بوجود مُغيّر خطوة)، فإن جانب مقارنة قيمة المقاومه كما ذكر سابقاً يُصبح يرسم لعلاقة بين قيمه مقاومه الملفات المقاسة ورقم الخطوة (Tap)، وذلك سهيل عمليه التحليل عبر ملاحظه حصية (Linearity) المنحني الناتج عن رسم هذه لعلاقة بالإصافه بي التأكّد من تطابق المنحني الحاص بالأطوار الثلاثة.

ويوضح الشكل [(3-27) (أ)] العلاقة مباشرة اليكز حلقات محول مُعيّر خطوة من اسوع الخطي (Linear OLTC)، والشكل [(3-27) (ب)] العلاقات محول مُعيّر خطوة من اسوع اعكسي أو كم تُسمى مُعيّر خطوة دو تنديل عكسي (Reversing Changeover OLTC)، بحيث يُمكن ملاحظة خطية المنحنى بالإضافة إلى تطابق المنحنى للأطوار الثلاثة



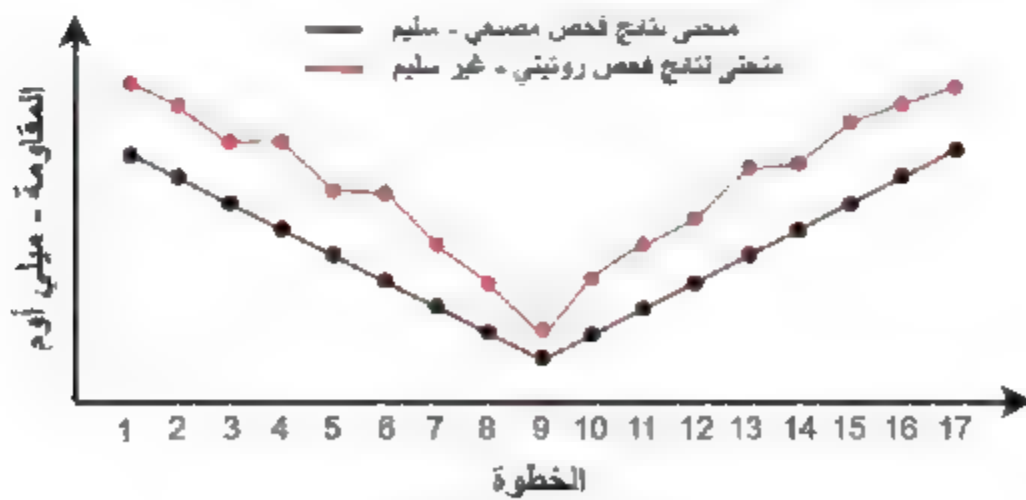
الشكل رقم (3-27)

في حين أن يُمكن منحني قيم المقادير خطياً كما هو مُبين بالشكل (3-27) السابق كل من نوعي مُعيّر الخطوة فإن هذا يتم عن وجود بعض ما في مُعيّر الخطوة، ومن الأعطال الشائعة في مُعيّر الخطوة تآكل أو تأكسد ملامساته الخاصة بمفتاح التحويل (Diverter Switch) أو مُحدد الخطوة (Tap Selector) بالإضافة إلى وجود ارتجاج في نقاط التوصل وغيرها من الأعطال الشكل [(3-28) (أ)] يُبين منحنى مقادير خاص بمحول دو مُعيّر خطوة من اسوع الخطي (Linear OLTC) بحيث يُمكن ملاحظة عدم تطابق المنحنى الخاص بأحد الأطوار مع بقية أطوار المحول مما يكشف وجود مشكلة في هذا الطور وتحديد، والشكل [(3-28) (ب)] يُبين منحنى مقادير خاص بمحول دو مُعيّر خطوة من اسوع خطي (Linear OLTC) بحيث يُمكن ملاحظة ظهور بعض قيم المقادير المتفاوتة عند إحدى الخطوات الخاصة بهذا المُعيّر (Tap Changer) مما يُشير لوجود مشكلة محتملة في ملامسات هذه الخطوة (Tap) فقط.



الشكل رقم (3-28)

يُبين الشكل (3-29) منحنى مقاومة منسوب أحد أطوار محول ذو مُعَيَّر حصوة من النوع ذو اثنين لعكسي (Reversing Changeover OLTC) بحيث يُمكن ملاحظة عدم حصيته وعدم مطابقتها لمنحنى احملة المرحلي (المصغي) لخص ديسس ادفار اجداد الدور



الشكل رقم (3-29)

لأشكال (29 & 28-3) السائدة تؤكد وجود عطل في مُعَيِّر الخطوة نفسه أو في ساط إلتقاء موصلايه مع لمصب أو عوز يَحترق المحول (Bushings) ويجب التفتي عنها و إصلاحها وذلك بعد مرسله الشركة المُصنَّعة ومراعاة توصياتها.

ومن الأمور التي يُصبح بها في حال وجود مُعَيِّر خطوه (Tap-Changer) عمل تمرين (Exercise) من مرة لأخرى صعوداً ونبولاً لخطوات (Taps) كافة من مرتين إلى ستة مرات سوباً وذلك لتخلص من تآكسد الملامس، أما في ما يخص تآكلها أو أية عُراضة أخرى للتقادح يجب مراعاة عمل الصيانات لشماله (Overhauls) في مواعيد المحددة من قبل مُصنَّع مُعَيِّر الخطوة (Tap-Changer) ويستدل هذه الملامسات بأخرى جديدة في حال لزم الأمر.

ملحوظة (3-5). في حال وجود مُعَيِّر خطوه من نوع (OCTC or DETC) ولم يتم تمرين وصيسته لفترة طويله (أي أنه بي على خطوه محددة لفترة طويله من الزمن باستثناء) لا يُصبح بعمل تمرين (Exercise) لهذا النوع من مُعَيِّرات الخطوه أما لتطوي عليه هذه العملية من مخاطر تتمثل في إحداث عطل لهذا المُعَيِّر بحال في عي عنه



9. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

هناك عدة عوامل من شأنها التأثير على قيمة فحص مقاومة الملامت أو قد يزيد من صعوده بحال هذه الفحص يجب تكرارها من أجل تحديد تأثيرها أو التفتي منه على أقل عند إجراء هذا الفحص، ومن هذه العوامل:

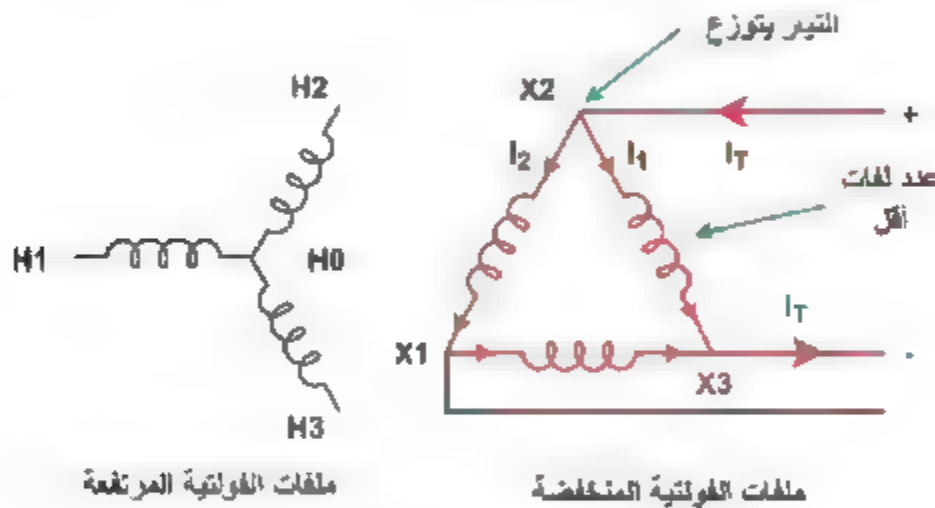
9.1 تيار الفحص – Test Current

كما هو معلوم أن تيار الفحص له تأثير مباشر على ثلثه المحسوس ومدى دقته، لذلك يجب اختيار مستوى هذا التيار بعناية شديدة وفقاً للمحدد من المعايير كحجم المحول ومقدار تياره الاسمي وطريقة توصيل ملامته داخياً وبعبرها من المعايير، ففي حال رادب قيمة تيار الفحص عن نفسه مُعَيِّته من قيمة تيار الاسمي للملقات فإن ذلك من شأنه رفع درجة حرارة هذه الملقات والسبب باختلاف قيمة المقاومة المُقاسة، حيث حددت معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات هذه النسبة بـ (15%) بالمتة من قيمة تيار الاسمي للملقات [IEEE Std C57.152-2013] وعلى التقيص أيضاً وفي حال كانت قيمة تيار الفحص قليلة فإن ذلك سيؤدي إلى صعوبات في المحسوسية لعدم وصول القلب حديدي لحاله للشُّعاع المغناطيسي وعدم إستقرار قيمة المقاومة كما سيتم شرحه في النقطة (9.3)

9.2 ملفات المحول الموصولة على شكل مثلث - Delta Connected Winding

في حل فحص ملفات المحول الموصولة على شكل مثلث (Δ - Delta) وخاصة إذا كانت هذه الملفات ذات الفولتية المنخفضة (LV winding) فإن ذلك من شأنه زيادة عسيدة هذا الفحص للأسباب الآتية

- صعوبة الوصول لحالة تشبع القلب الحديدي للمحول؛ عند فحص هذا النوع من الملفات وسعاً لقلبه عدد ملفات لحيصه بها (LV winding) مقارنة بملفات الفولتية المرتفعة (HV winding). بالإضافة لتوزيع التيار بين الملفات الموصولة على شكل مثلث (Δ - Delta) كما هو مبين بالشكل (3-30)، فإن ذلك من شأنه زيادة صعوبة الوصول لحالة تشبع القلب الحديدي للمحول، حيث أن قوه التمتعظ أو كما تسمى بالقوة الدافعة المعباطيسية (Magnetomotive Force - MMF) التي من شأنها وصول القلب الحديدي لحالة التشبع المعباطيسي تعتمد على عدد الملفات والتيار ($I \cdot N$) حيث (N) تمثل عدد ملفات و (I) تمثل التيار وفي هذه الحالة يتم لجوء بعض الطرق كرفع تيار الفحص أو زيادة عدد الملفات كما سيتم شرحه في النقطه (9.3).



الشكل رقم (3-30)

- الزمن الطويل حتى تستقر قيمة التيار؛ عند فحص ملفات المحول الموصولة على شكل مثلث (Δ - Delta) يكون مقاومة الختماسه أقل من المقاومة الفعلية للملفات بمقدار النقص تقريباً كما تم شرحه سابقاً في هذا الفصل، نتيجة لذلك فإن المعامير الزمني للارتفاع في التيار (L/R) والذي يساوي حاصل قسمة (L/R) سوف يزداد مؤدياً لزمن أطول حتى يستقر التيار واستخراج قيمة مقاومة الملفات كما هو موضح في الشكل (3-4)

ومن الأسباب الأخرى لعدم استقرار التيار عند فحص محول ذو مجموعة توصيل (Δ - Delta) هو أن هذه التوصيلة تملك سلوكاً مشابهاً لثلاثي محثتين متعقبات حيث أن لطاقه احصافه لهذه الدوائر والتي تكون على شكل تيار ثابت (DC) بدءاً من لحظة دخول هذه الدوائر للمعلنة مما يزيد من زمن الوصول لحالة الاستقرار كما ورد في الكتيب التقني الصادر عن شركة ميجر [MEGGER, AVIM830280 Rev.C] لذلك قد تلتجأ بعض مختبرات الفحص لفتح دائرة

الملفات الموصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) بطريقة ما إن أمكن ذلك لتسهيل عملية فحص مقاومة هذه الملفات.

9.3 التشبع المغناطيسي للقلب الحديدي - Iron Core Saturation

من الشروط الأساسية التي يجب مراعاتها للحصول على قيمة مقاومة ملفات دقيقه و الوصول لحالة استقرار ندر وقوسه لفحص هي تشبع القلب الحديدي للمحول (Core saturation) كما أكر سابقاً في فقرة فلسفة الفحص. ذلك من كبرتي الصعوبات التي تظهر أثناء فحص مقاومة الملفات خاصة المحوول هي عدم القدرة الوصول لحاله تشبع القلب الحديدي، خاصة في حالة قياس مقاومه مغناطيسية لفوسة المخصصة الموصولة على شكل مثلث (Delta LV winding) كما تم شرحه في انقطة (9.2) سابقة الذكر

ومما يريد الامر تعقيداً صعوبه معرفه فيما إذا وصل القلب حديدي حاله تشبع أم لا، وللمحد من مشكله عدم تشبع قلب الحديدي للمحول يمكن اتباع إحدى طررق الآتية.

• زيادة قيمة تيار المحص (DC Current)

عند قياس مقاومة مغناطيسية فولييه مخصصه (LV winding) لمحوول وكاتب قيمة مقاومة متذبذبة لمدة بطويله وكان التيار المحسوس قيمته (1%) بالمتنه من التيار الاسمي مثلاً، في هذه حالة احد الاحتمالات، فوسية الهذ الحاله هو عدم وصول القلب الحديدي لحاله التشبع لانه عند زياده تيار محسوس مثلاً إلى (5%) على أن لا تتجاوز ما مقدرد (10% - 15%) من اسير لاسمي للمفات، وبذلك يكون قوه المتمعنط أو كما تسمى بالقوة لدفعه لمغناطيسية (Magnetomotive Force - MMF) رددت إلى قرينة 5.5 أضعاف كما هو شيج بالمعدلة (3.20)، وعندها يمكن الوصول إلى حاله التشبع للمغناطيس الحديدي للمحوول ويمكن تسجيل قيمه مقاومه المغناطيس بعد ثباته

$$MMF = N \cdot I \quad (3.18)$$

بعد زيادة التيار خمس أضعاف تُصبح المعادلة

$$MMF = N \cdot (5I) \quad (3.19)$$

$$MMF = 5 N \cdot I \quad (3.20)$$

حيث:

MMF قوة المغناطيس أو كما تسمى بالقوة لدفعه المغناطيسية (متر قوة)

N : عدد اللفات (لفة)

I : التيار (أمبير)

• زيادة قيمة فولتية الفحص (DC Voltage)

يعتمد الزمن اللازم للوصول إلى حالة تشبع القلب الحديدي المحوّل على مستوى فولتية الملفات، فحساب (Volt-seconds) للمغناطيسات يمكن معرفة الزمن و الفولتية اللازمة للوصول إلى حالة التشبع، بحيث سمّ احسب هذه القيمة (Volt-seconds) عن طريق تكامل لمساحة تحت نصف دورة موجة الفولتية ونقسمها على (2)، فمثلاً محوّل كهربائي فولتية ملفه الاسمي (100kV) كيلو فولت و تردده (50Hz) هيرتز فإنه بحاجة لقيمة (450 Volt-seconds) فولت ثانية حتى الوصول إلى حالة التشبع، أي إذا قمنا بتطبيق فولتية مقدارها (30V) فولت ستحتاج الزمن مقدار (15s) ثانية للوصول إلى حالة التشبع، كما وتجنّب الإشارة إلى اختلاف هذه القيمة تبعاً لمقدار المعطائيه سابقة في القلب الحديدي (Residual Magnetism) كما ورد في [Q. W. Iwansiw, The art and science of measuring the winding resistance of power transformers]

لذلك والموصول إلى حالة التشبع المغناطيسي القلب الحديدي المحوّل يمكن زيادة قيمة فولتية الفحص، حيث يتردّد هذه الفولتية يتردّد مقدار الفيض المغناطيسي كما هو مبين بالمعادلة (3.21) لقيمة:

$$\varphi = V \cdot T \quad (3.21)$$

حيث:

φ	: الفيض المغناطيسي، (فولت.ثانية)
V	: فولتية، (فولت)
T	: الزمن، (ثانية)

وكما هو معلوم أن قوة التمعيط أو كما تُسمى القوة الدافعة المغناطيسية (MMF) المسؤولة عن تشبع القلب الحديدي المحوّل تعتمد على مقدار الفيض المغناطيسي في القلب الحديدي كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$MMF = \varphi \cdot \mathcal{R} \quad (3.22)$$

$$MMF = V \cdot T \cdot \mathcal{R} \quad (3.23)$$

حيث:

MMF	: قوة التمعيط أو كما تُسمى القوة الدافعة المغناطيسية
V	: الفولتية
T	: الزمن
\mathcal{R}	: المعالفة المغناطيسية (Reluctance)

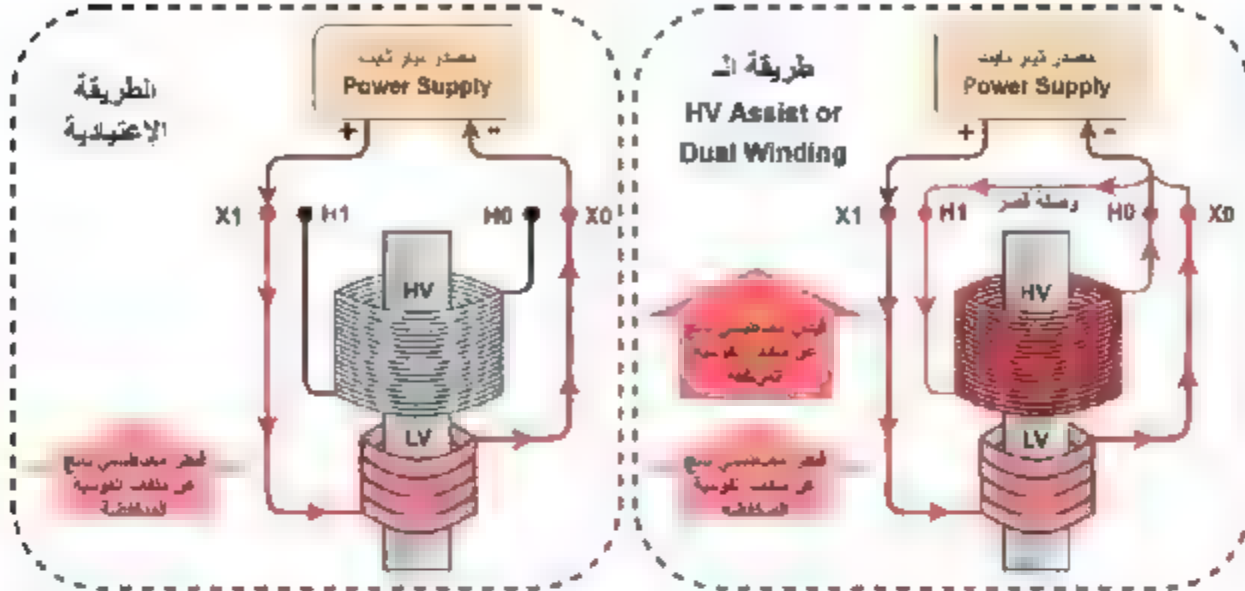
• زيادة عدد اللفات

إن عدد الملفات المحقّقة بتيار الفحص يتناسب مع قوة التمعيط في القلب الحديدي لذلك تُعدّ زيادة عدد هذه الملفات من الأمور المُساعدّة للوصول إلى حالة التشبع المغناطيسي ويكون ذلك بطريقتين

كثف لفحوصات لتشخيصية للمحوّلات الكهربائيّة (السحبة الإلكترونيّة)

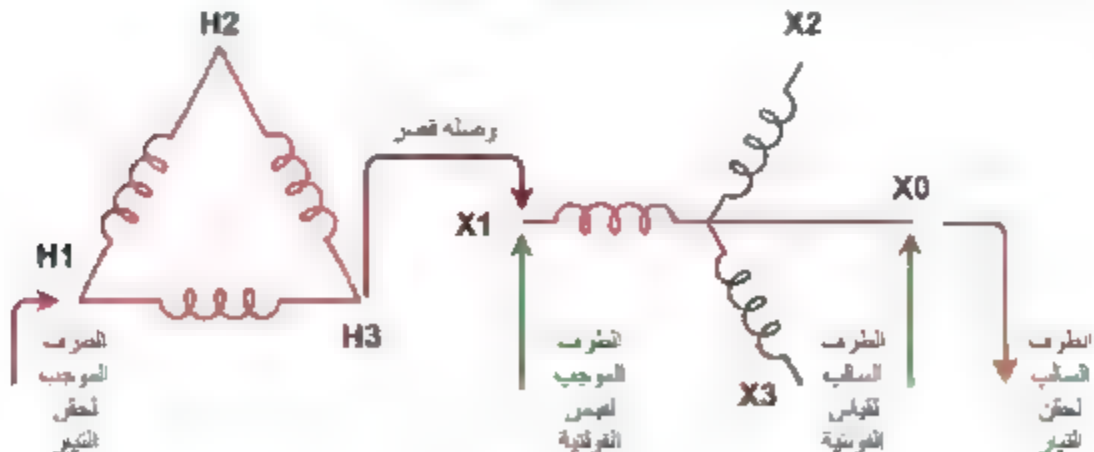
م. محمد صبيحي عساف

○ الطريقة الأولى: وذلك بمساعدة ٦ ملفات العولتية المربوعة أو ما يُسمى بطريقة (HV assist) أو طريقة «(Dual winding)»، حيث يتم وصل ملف العولتية مرتفعة (HV winding) للمحول مع ملف العولتية المنخفضة (LV winding) ليس لظور على التوالي مع مراده فُصلية الملفات (Polarities) كما هو مبين بالشكل (3-31)



الشكل رقم (3-31)

حيث أن إستخدام هذه الطريقة يزيد من عدد الملفات المحقونة بنهر النحاس، وكما هو معلوم أن قوة المصعد، وكما يُسمى بالفرق، المضافة المغناطيسية (Magnetomotive Force - MMF) تردد برودة عدد الملفات (N) كما هو مبين بالمعادلة (318) النسبة والتي بدورها تؤدي إلى لوصول في حالة تشبع القلب الحدي شكل 'معرض' أيضاً تُتيح قياس مقاومة معين في نفس الوقت كما هو موضح في الشكل (3-32)، وإلى جانب قياس العولتية على أطراف الملف ($X1 - X0$) يُمكن أيضاً قياس العولتية على أطراف ملفات العولتية المربوعة ($H1 - H3$) وحساب قيمة متناوبة هذا الملف أيضاً حيث أن الشكل التالي يوضح إستخدام هذه الطريقة (Dual winding) على فحص محول ثلاثي الصور ثنائي الملفات ذو مجموعة توصيل (Dyn1) كمثال.



الشكل رقم (3-32)

عادةً ما يتم استخدام هذه الطريقة مع المحولات ذات مجموعة التوصيل ($\Delta - \Delta$)، حيث أنه كما ورد في [MEGGER, AVTM830280 Rev.C] فإن استخدام هذه الطريقة لمحول من هذا النوع ذو سعة Capacity حوالي (300kVA) كينو فولت أمبير يقلل زمن الفحص من (14 min) دقيقة إلى (30s) ثانية

لجدول (3-3) يوضح النمط التي يجب فحص التيار بها و النمط التي يجب قياس الفولتية عندها في حال تطبيق هذه الطريقة (Dual winding) لمعض مجموعات التوصيل (Vector group)

الجدول رقم (3-3)

مجموعة التوصيل		أطراف حقن التيار وقصر الأطراف		قياس فولتية 1		قياس فولتية 2	
		الاطراف المقصورة					
		-	+	-	+	-	+
Ynd1	H1	H0-X1		H0	H1	X1	X2
	H2	H0-X2		H0	H2	X2	X3
	H3	H0-X3		H0	H3	X3	X1
Dyn11	H1	H2-X1		H2	H1	X1	X0
	H2	H3-X2		H3	H2	X2	X0
	H3	H1-X3		H1	H3	X3	X0

* فيما يخص باقي مجموعات التوصيل يمكن الرجوع للملحق رقم (3-1)

○ الطريقة الثانية: وتسمى بطريقة إعادة توجيه التيار (Re-Directing Current) وهي خاصة بالمتصل الموصول عن شكل نقطة (Star - Y) وذلك بعمل وصله قصير (Short circuit) عن السلفي الاخرين توصيله النجمة بحيث يكون مدخل التيار من الملف مُرَد فخص مقاومته ومخرج ليار من نقطة لينتشر بين المتصلين الاخرين مع قياس الهبوط في الفولتية عن الملف مُرَد فخصه فقط (X1-X0) كما هو مُرس بالشكل (3-33)



الشكل رقم (3-33)

9.4 تأثير درجة حرارة الملفات – Winding Temperature

يُعدّ التغير في درجة حرارة ملفات المحوّل من العوامل التي تؤثر على قيمة مقاومة الملفات ، حيث أن تغير في درجة حرارة الملفات الحاسنة بمقدار درجة مئوية واحدة فقط يؤدي إلى تغير في قيمة المقاومة بمقدار (0.39%) بالمئة.

لذلك يجب مراعاة الأمور التالية:

- ✓ درجة حرارة المحوّل يجب التأكد من استقرار المحوّل حرارياً قبل إجراء الفحص كما تم شرحه مسبقاً في فقرة الأمور التي يجب مراعاتها قبل البدء بالفحص.
- ✓ وقت الفحص. يُصبح بعض الفحص في الأوقات التي يكون فيه درجة الحرارة الجوية غير مُتغيرة.
- ✓ مدة الفحص. يعتمد مدة الفحص على طريقة الفحص المستخدمة وعادةً ما يتراوح من ساعة إلى ساعتين من قراء وأحر قراء يتم قياسها أثناء فحص مقاومة الملفات خاصة في حال وجود مُغيّر حطوة (Tap Changer)، وهذا الوقت المُستغرق في إجراء الفحص يسمح بحدوث اختلاف في درجة حرارة الملفات غير مرغوب به بين أول وأحر قراءة لذلك يجب تعيين زمن الفحص قدر الإمكان، ولذلك من عند تغير درجة الحرارة يجب أخذ درجة حرارة الملفات قبل وبعد الفحص.
- ✓ تيار الفحص. إن زيادة قيمة تيار الفحص فوق القيمة المسموح بها وهي (15%) بالمئة من التيار الاسمي يُعبر عن سوء حالة التشبع المغناطيسي لقلب الحديد قد يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة ملفات مما يؤثر سلباً على قيمة المقاومة المُنسبة كما تم شرحه سابقاً

9.5 حجم المحوّل

تناسب قيمة مقاومة ومحاثة ملفات المحوّل تناسباً طردياً مع مربع التوليفية الاسمية للملفات وعكسياً مع سرعة المحوّل، حيث أن ملفات التوليفية المربعة (HV winding) تحتوي على عدد لفات أكبر وهذا يعني قيمة محاثة ومقاومة أكبر، والعكس بالعكس فيما يخص ملفات التوليفية المخصصة (LV winding) فهي تحتوي على عدد لفات أقل مما يعني قيمة محاثة ومقاومة أقل لهذه الملفات

9.6 فحص أحادي الطور أو ثلاثي الطور

يُمكن إجراء هذه الفحص بالطريقة أحادية الطور (Single phase) أي باستخدام مصدر تيار ثلاث واحد فقط حيث يتم فحص الملفات واحداً تلو الآخر كما تم شرحه سابقاً أو بالطريقة ثلاثية الطور أي باستخدام ثلاثة مصادر لتيار التام، يفحص ملفات الأطوار الثلاثة بنفس الوقت، الجدول (3-4) يحوي مقارنة بين الطريقتين فيما يخص تدرج الخصائص

الجدول رقم (3-4)

وجه المقارنة	أحادي الطور Single Phase	ثلاثي الطور Three Phase
توصيلة الحثافات تحت الفحص	تُمكن تطبيقه على الملفات الموصولة على شكل مثلث (Delta-Δ) ونجمه (Star-Y)	تُمكن تطبيقه على ملفات الموصولة على شكل نجمة (Star-Y) فقط
مدى الفحص	أكبر	أقل
مصدر التيار ثنائي	بجاجة لمصدر واحد فقط	بجاجة لثلاثة مصادر
طريقة Dual winding	تُمكن صنعها	لا تُمكن صنعها
نسبة الخطأ	-	في بعض الأحيان أقل من نظيرتها أحادية الطور

9.7 تأثير محولات الفولتية والتيار – Voltage and Current Transformers

يوجد محول فولتية (Voltage Transformer - VT) على طور واحد من أطوار المحول قد يربط من مدخله هذا الطور وفيه نسبة بعض المشاكل عند تحليل قيم نتائج فحص مقاومة المصدر، وذلك عند المقارنة في قيم المقاومات بين الأطوار.

أما فيما يخص محولات التيار (Current Transformers - CTs) فإن المستخدم من هذه حادة مع عيوب الاحتراق (Bushings) المحول هي من نوع الحلقي (Ring type) والتي بدورها لا تؤثر على قيمة لمقاومته، ولكن في حال استخدام محول ثنائي الملفات على أحد أطوار المحول فسيتكون له نفس التأثير السابق فيما يخص محول الفولتية.

10. فحوصات إضافية دأمة

تعتبر محولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية لها من دور في ديمومة سير العمل الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة الكهربائية جميعها بالإضافة إلى تكتلها المادية المربعة، لذلك لا يمكن الاعتماد على فحص فحص واحد لتقييم حالة المحول ولبدء عمل الإجراءات التصحيحية هذا المحول، بل يجب عمل فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع الخلل بالصبط ثم بعد ذلك يُبصر العمل بالإجراءات التصحيحية اللازم اتخاذها للمحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنِّع هذا المحول.

بعد إجراء فحص مقاومة المصدر (WDM) وكانت نتائج الفحص غير مُرضية مما يعني وجود قطع مكلي أو حرثي للمعدات أو وجود قصر بين الملفات أو وجود نقاط توصيل رديئة أو أية أعطال أخرى في مُغير الخطوة، لا بُد من إجراء بعض فحوصات الأخرى للتأكد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات

لتصحيحه ومنه فحص الاستجابة الترددية للخسائر الشاردة (Frequency response of stray losses FRSL) بالإضافة لفحص العازل الدائنة بالرب (Dissolved Gas Analysis - DGA) وملاحظة ارتفاع نسب ثلاث غازات مُحتملة وهي غازات إحماء المعادن (Hot metal gasses) و لمُكونة من غازات انثائية (ميثان CH_4 و الإيثان C_2H_6 و الإيثيلين C_2H_4) والتي تُعطي بصمغ عن حدوث إحماء في موصلات الملفات ناتج عن إرتفاع في قيمة المقاومة

11. تفريغ الملفات وإزالة تَغْنُط القلب الحديدي

عادةً بعد فحص مقاومة العزل (Insulation Resistance - IR) وفحص مقاومة ملفات (Winding Resistance Measurement - WRM) أي عموماً بعد المحوسبات التي يتم من خلالها تطبيق فواتية وتيار ثابت (DC) والتي بدورها تقوم بشحن ملفات المحول (Winding Trapped Charge) وكذلك تؤدي لتغْنُط القلب الحديدي للمحول أو ما يُسمى بالـ (Core Magnetization)، فإنه من الضروري تفريغ شحنة الملفات (Winding Discharge) للانتقال من ملف لآخر وكذلك إزالة تَغْنُط القلب الحديدي (Core De-magnetization) بعد الانتهاء من الفحص وقبل كهرية المحول (Transformer energization) أو إجراء فحوصات أخرى وذلك تحسباً لحدوث الدوائر التالية:

✓ حدوث صدمة حثية (Induction Kickback) ناتجة عن الصدمة المخزنة في محاثّة ملفات المحول $(E = \frac{1}{2} I^2 L)$ والتي قد تتسبب في مخاطر من شأنها التأثير على الأشخاص و المعدات.

✓ دليور تيارت عالية غير إعتيادية (High Inrush Current) عند كهرية المحول (Transformer Energization) والتي قد تصل لقيمته تيار التيسر الأعظم في بعض الاحيان (Maximum Short-circuit Current) وتؤدي لعمل خادع امحلات الحماية الكهرومائية

✓ ظهور نتائج غير دقيقة عند تطبيق الفحوصات التالية:

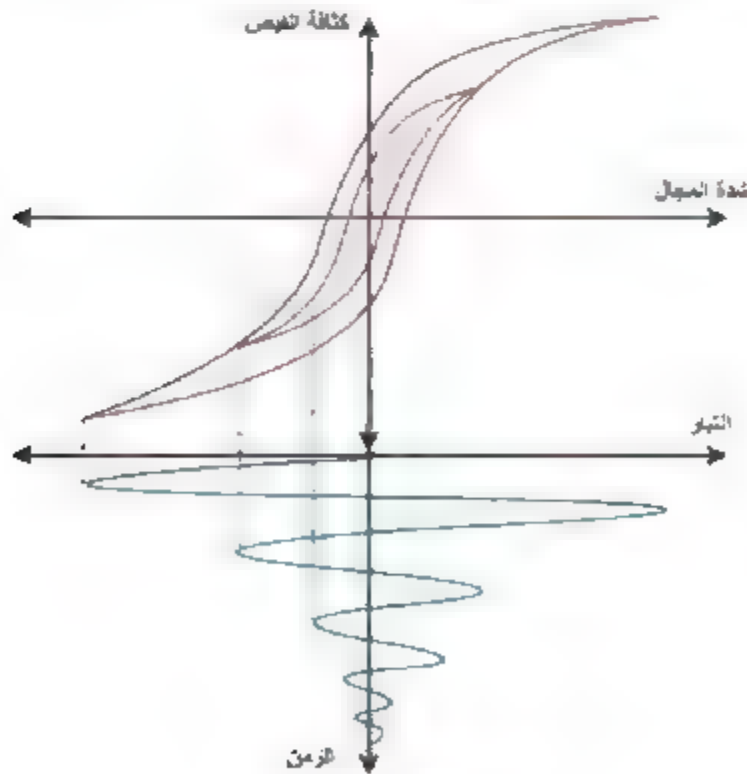
- الإستجابة الترددية للخسائر الشاردة - Frequency Response of stray losses FRSL
- نسبة تيار المحول - Transformer Turns Ratio TTR
- تفاعله التسرب - Transformer Leakage Reactance
- تيار التهييج - Transformer Excitation Current
- تحليل الإستجابة الترددية المسحي - Sweep Frequency Response Analysis

لكي يجب تفريغ صدمة مخزنة في الملفات (Winding Discharge) عند الإنتقال من ملف لآخر وبعد الانتهاء من الفحص تماماً وذلك عن طريق قصير (Short circuit) طرفي ملفات المحول ووصلها بالأرض بفترة زمنية مناسبة ويُقدّر بأربعة أضعاف زمن تطبيق العولقية الذبذبة على الملفات أثناء الفحص أو قُرابة 30 ثانية كما هو مذكور في بعض المراجع والمعايير، وعادةً تُجرى فحص الحثية و تَغْنُط الملفات بواسطة شركة (MEGGER, OMICRON & METREL) يقوم بتفريغ الملفات بعد الانتهاء من إجراء الفحص

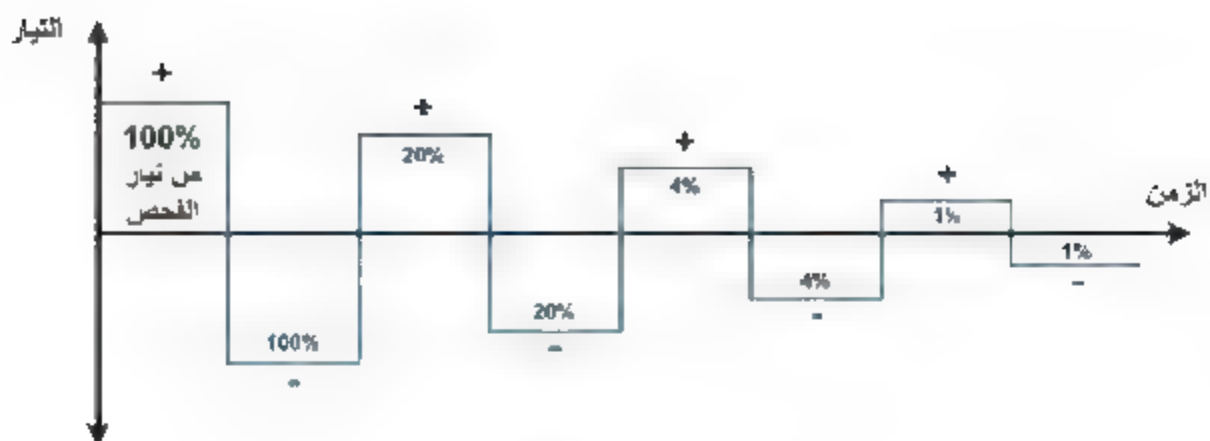
أما فيما يخص إزالة تميغظ القلب، أحد أدنى المحاول (Core De-magnetization) فإنه يتم بعدة طرق وهي:

✓ **طريقة التسخين:** في هذه الطريقة يتم تسخين المادة المراد إزالته بتمغنطها لدرجة حرارة فوق درجة حرره كبريتي (Cure Temperature)، وهي درجة الحرارة التي تسعد عندها المادة خصائصها المغناطيسية فمثلاً الحديد المكون القلب الحديدي تساوي (770°) درجة مئوية ولكن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها في المحاولات نظراً لخطورتها على المادة العازلة.

✓ **طريقة حقن تيار متناقص:** في هذه الطريقة يتم حث سار متناقص في لفائف حتى الوصول إلى حالة عدم التميغظ ويتم ذلك بطريقتين وهي طريقة التيار المتردد (AC) كما هو موضح في شكل (3-34) وهي طريقة قد يتسبب على بعض المخاطر فيما يخص السلامة عامة نظراً لارتفاع قيمة الفولتية المتناقصية، وعنده ما يتم إجراء هذه الطريقة في المختبرات المُجهزة ودراً ما يتم عمل هذه الطريقة في الموقع، لذلك يتم اللجوء لطريقة تيار ثابت (DC) متردد لقطبيه (Alternating polarities) والمتناقص مع الزمن إلى حد التناقص من تميغظ القلب الحديدي للمحول كما هو موضح بالشكل (3-35) وذلك حسب معيار معهد مهندسي الكهرباء وإلكترونيات [IEEE Std C57.152-2013] حيث أن هذه الطريقة لا تحتاج فولتية مرتفعة كغيرها للتبرع المتردد سابق الذكر، وعدة أجهزة لفائف الحديدية مثل (TESTRANO by OMICRON) و (MTO by MEGGER) تقوم بإزالة تميغظ القلب الحديدي (De-magnetization) بشكل تلقائي أو يدوي من الإلهاء من إجراء الفحوصات التي تعمد تطبيق فولتية وتيار ثابت (DC) على ملفات المحول كتحقق سقاوسه المتناقص (WFM) كما هو مبين بالملحق (3-5) في نهاية هذا الفصل.



الشكل رقم (3-34)



الشكل رقم (3-35)

12. أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية

12.1 المثال الأول: الشكل (3-36) يبين قيم فحص معاومة دوائر قصبي (FAT) محوّل ثلاثي الأطوار ثنائي الممددات (Three Phase Two Windings) موصول بطريقة (YNd11) ذو مُعيّر خصوة من نوع (DETC or OCTC)

Acceptance Test Certificate		MEASUREMENT OF WINDING RESISTANCE		Page No.
Customer		Sample	6	2
Motor Power: MVA	35	Motor - Stage: 1	6	9
				Inspector: P. M. M. M.
HV Windings		V Windings		
Temperature	24 C	Temperature	24 C	
R ₁	R ₂	R ₁	R ₂	
1	1.1281	1.1281	1.1281	
2	1.1441	1.1441	1.1441	
3	1.1441	1.1441	1.1441	
4	1.1441	1.1441	1.1441	
5	1.1441	1.1441	1.1441	

الشكل رقم (3-36)

122 المثال الثاني: الشكل (3-37) يُبين قيم فحص مقاومة ملفات قصبي (FAT) المحول ثلاثي لأطور، ثنائي التامات (Three Phase Two Windings) موصول بطريقة (Dyn1) ذو مُعزير خطوه من نوع (OLTC)

Acceptance Test Certificates									
Transformer				MEASUREMENT OF WINDING RESISTANCE				Page No.	
Transformer No.				Date of Test				Page No.	
Rated Power (MVA)				Test Voltage (kV)				Test Temp. (°C)	
25.0				10.0				25.0	
HV Windings				LV Windings					
Temperature	20	°C	Notes	Temperature	20	°C	Notes		
R ₁	21.05			R ₁	21.05				
R ₂	21.05			R ₂	21.05				
R ₃	21.05			R ₃	21.05				
R ₄	21.05			R ₄	21.05				
R ₅	21.05			R ₅	21.05				
R ₆	21.05			R ₆	21.05				
R ₇	21.05			R ₇	21.05				
R ₈	21.05			R ₈	21.05				
R ₉	21.05			R ₉	21.05				
R ₁₀	21.05			R ₁₀	21.05				
R ₁₁	21.05			R ₁₁	21.05				
R ₁₂	21.05			R ₁₂	21.05				
R ₁₃	21.05			R ₁₃	21.05				
R ₁₄	21.05			R ₁₄	21.05				
R ₁₅	21.05			R ₁₅	21.05				
R ₁₆	21.05			R ₁₆	21.05				
R ₁₇	21.05			R ₁₇	21.05				
R ₁₈	21.05			R ₁₈	21.05				
R ₁₉	21.05			R ₁₉	21.05				
R ₂₀	21.05			R ₂₀	21.05				

الشكل رقم (3-37)

12.3 المثال الثالث: الشكل (3-38) يُبين قيم فحص مفردة ملفات قصصي (FAT) لمحول ثلاثي لأصوار ثلاثي منفرد (Three Phase Tertiary Windings) موصول على شكل (Dd0-d0) ذو مُعْتَر خطوه من نوع (DETC or OCTC)

Measurement of winding resistance					
Oil temperature: 21 °C					
Winding	Tap	$R_{AB}(\Omega)$	$R_{BC}(\Omega)$	$R_{CA}(\Omega)$	Unbalance rate (%)
HV winding		0.014098	0.014102	0.014111	
	2	0.013702	0.013761	0.013713	
	3	0.013357	0.013348	0.013355	
	4	0.012966	0.012963	0.012961	
	5	0.012698	0.012598	0.012602	
LV winding	Tap	$R_{a1b1}(\Omega)$	$R_{b1c1}(\Omega)$	$R_{c1a1}(\Omega)$	Unbalance rate (%)
		0.009098	0.009055	0.009098	
LV2 winding	Tap	$R_{a2b2}(\Omega)$	$R_{b2c2}(\Omega)$	$R_{c2a2}(\Omega)$	Unbalance rate (%)
	1	0.009163	0.009146	0.009165	

الشكل رقم (3-38)

الملحق (3-1)

الأطراف التي يجب قصرها والأطراف التي يجب القياس عليها عند تطبيق طريقة (HV assist) أو ما يُسمى بطريقة الـ (Dual windings) لمجموعات التوصيل المختلفة وذلك لزيادة عدد اللفات الحاملة لتيار الفحص [MEGGER, AVTMT0210 Rev 5]

مجموعة التوصيل	أطراف حقن التيار وقصر الأطراف			قياس فولتية 1		قياس فولتية 2	
	+	الأطراف المقصورة		+	-	+	-
Dd0	H1	H3-X1		H1	H3	X1	X3
	H2	H1-X2		H2	H1	X2	X1
	H3	H2-X3		H3	H2	X3	X2
Dyn7	H1	H3-X0		H1	H3	X0	X1
	H2	H1-X0		H2	H1	X0	X2
	H3	H2-X0		H3	H2	X0	X3
Dyn1	H1	H3-X1		H1	H3	X1	X0
	H2	H1-X2		H2	H1	X2	X0
	H3	H2-X3		H3	H2	X3	X0
YNyn0	H1	H0-X1		H1	H0	X1	X0
	H2	H0-X2		H2	H0	X2	X0
	H3	H0-X3		H3	H0	X3	X0
YNd1	H1	H0-X1		H1	H0	X1	X2
	H2	H0-X2		H2	H0	X2	X3
	H3	H0-X3		H3	H0	X3	X1
Dy1	H1	H3-X1		H1	H3	X1	X2
	H2	H1-X2		H2	H1	X2	X3
	H3	H2-X3		H3	H2	X3	X1
YNd7	H1	H0-X2		H1	H0	X2	X1
	H2	H0-X3		H2	H0	X3	X2
	H3	H0-X1		H3	H0	X1	X3
Dyn5	H1	H2-X0		H1	H2	X0	X1
	H2	H3-X0		H2	H3	X0	X2
	H3	H1-X0		H3	H1	X0	X3
Dy11	H1	H3-X1		H1	H3	X1	X3
	H2	H1-X2		H2	H1	X2	X1
	H3	H2-X3		H3	H2	X3	X2
Dyn11	H1	H2-X1		H1	H2	X1	X0
	H2	H3-X2		H2	H3	X2	X0
	H3	H1-X3		H3	H1	X3	X0

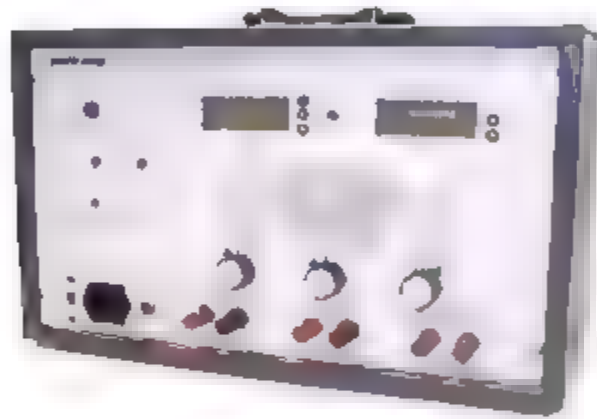
الملحق (2-3)

تنويه

يُصمم هذا الملحق خطوات المحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مُبسّط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجسّر الإشارة أنه في حال إستخدام جهاز الفحص المُشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط ، بل يجب قراءة الكُتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المُصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة ملفات المحول بإستخدام جهاز

Transformer Ohmmeter AVTM830280 by MEGGER



الشكل رقم (1-2-3)

يُعتبر هذا الجهاز من الإصدارات القديمة المُصنعة بواسطة شركة (MEGGER) لفحص مقاومة ملفات المحولات، حيث وجب التحديث عنه لوجوده بالخدمة إلى الآن في بعض محطات التوليد والمصانع.

• مواصفات الجهاز: حسب "1" Instruction Manual AVTM830280, Catalog No. (830280)

قدرة المدخل	120/240 V, 50/60 Hz, 350 VA.
التيار القياسي	إلكتروني بواسطة دائرة ثوسسون
آلية درويد التيار	توايد ونحكم إلكتروني
نطاق تيار المحرك	5 mA, 50 mA, 500 mA, 5 A (dc)
فولتية فحص (OC)	30 V (dc)
لخدمة من ارتفاع حرارة	علاق ثنائي مع وجود ائمة إشارة تحذيرية عند خطي حدود الحرارة المستوح بها على نطاق المسار (5 A)
مدخل قياس المقاومة	مدخلين مستقلين ذو ممانعة مرتفعة، لكل منهما نطاق مختلف
عن الآخر وأيضاً توجد حماية من شرارة القوس الكهربائي الناتجة عن (Inductive kick)	

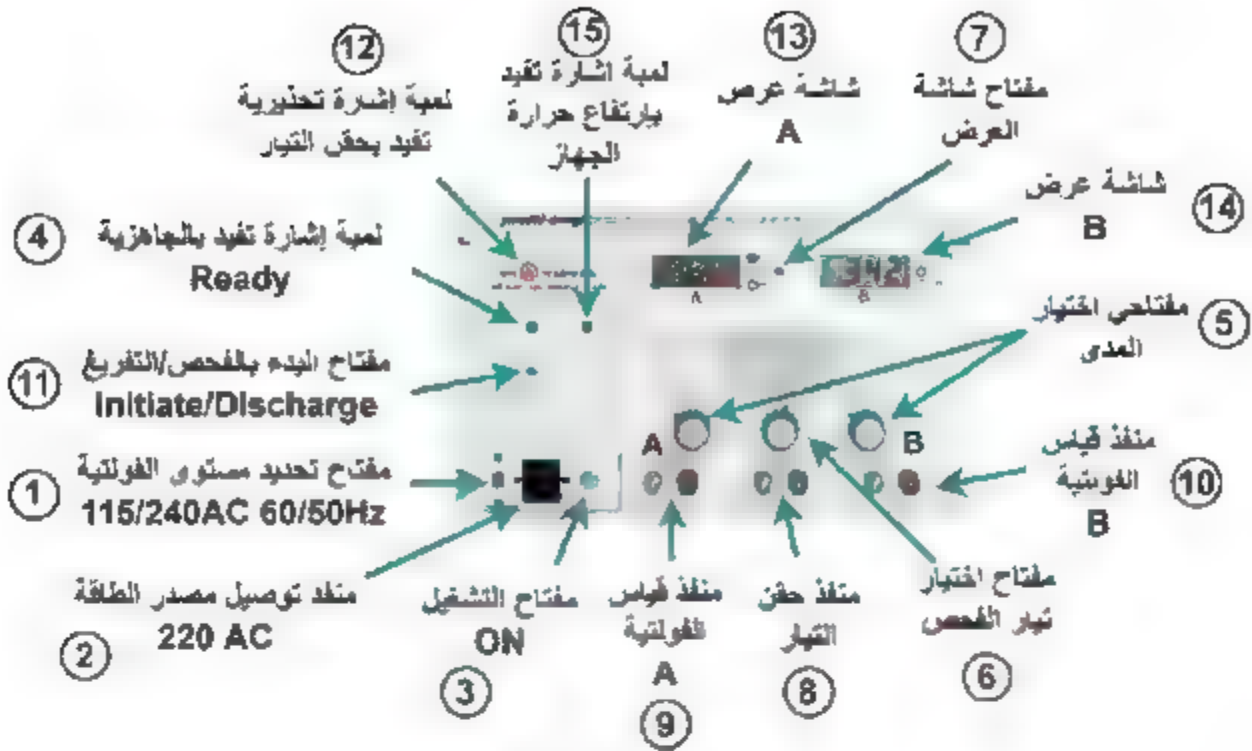
تطبق المقاوّمات المُقاسَة . حسب الجدول التالي.

Maximum Display	Resolution	Nominal
1.999 mΩ	0.001 mΩ	2 mΩ
19.99 mΩ	0.01 mΩ	20 mΩ
199.9 mΩ	0.1 mΩ	200 mΩ
1.999 Ω	0.001 Ω	2 Ω
19.99 Ω	0.01 Ω	20 Ω
199.9 Ω	0.1 Ω	200 Ω
1999 Ω	1.0 Ω	2000 Ω

- دقة ± 0.5%
- بيئة التشغيل المحيطة 32 to 104° F (0 to 40°C) RH to 80%
- بيئة التخزين المحيطة -40 to 149° F (-40 to +65°C)
- أبعاد الجهاز 280 H x 406 W x 267 D mm :
- وزن الجهاز Net 40 lb. (18 kg) :

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. لتأكد من تطبيق الخطوات (6.1 إلى 6.8) الواردة في فقرة خطوات الفحص من فصل فحص مقاومة الملفات.
2. لتأكد من أن الدارة المراد فحصها غير مكهربة ولا يوجد إحصاءة كهربائية أثناء الفحص.
3. تجنب لمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد لتأكد من عدم وجود فولتية وأن الملفات تم تفريغها من الشحنات المخزنة تماماً.
4. التأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك المشابك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير متصدعة ولا تعاني من أية ضرر فيزيرية كما شقوق أو لكسور.
5. التأكد من أن جهاز الفحص المراد استخدامه مُعاير (Calibrated).
6. قبل بدء الفحص يُفصل الجهاز عن التيار الكهربائي الرئيسي للجهاز من شاشته ومساعد وأزرار ومفاتيح تحكم وللمبات إشارة كما هو مبين بالشكل (2-2-3).



الشكل رقم (3-2-2)

7 نهضة منصقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية:

- 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
- 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشتعال في منطقة الفحص.
- 7.3 التأكد من التهوية الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مغلقة.
- 7.4 التأكد من سلامة نظام التأسيس في منطقة الفحص.
- 7.5 وضع حواجز حول منطقة الفحص وشوخص نغمد بوجود فحص ذو فومية وتيار خطار.

8 مصدر جهاز الفحص (AVTM830280) إلى الموقع مع مراعاة وضع الجهاز بالطرف وعدم تعريضه لأشعة الشمس المباشرة أو فتت موبل، حيث أن الحرارة المشعة للجهز يجب ألا تزد عن (40°) درجة مئوية

تحذير: لا تستخدم جهاز الفحص في لأحواء القوية بالإنفجار Explosive (atmosphere)



- 9 تحديد مستوى فولتية لمصدر المنسدة عبر المفتاح رقم (1) الظاهر في الشكل (3-2-2) بختيار (240VAC 50Hz)، ومن ثم توصيل جهاز الفحص بمصدر الطاقة الكهربائية عبر حنف (2)
- 10 لتأكد من وصعية المعايير الظاهر في الشكل (3-2-2) كالآتي:
 - 10.1 مفتاح التشغيل رقم (3) على وصعية (OFF)
 - 10.2 مفتاح شاشة العرض رقم (7) للأعلى.

10.3 مفتاح إختيار المدى رقم (5) (A) أقصى اليسار

10.4 مفتاح إختيار المدى رقم (5) (B) أقصى اليمين.

10.5 مفتاح إختيار التيار رقم (6)، يتم من خلاله تحديد قيمة تيار المحص المراد حسه (5mA

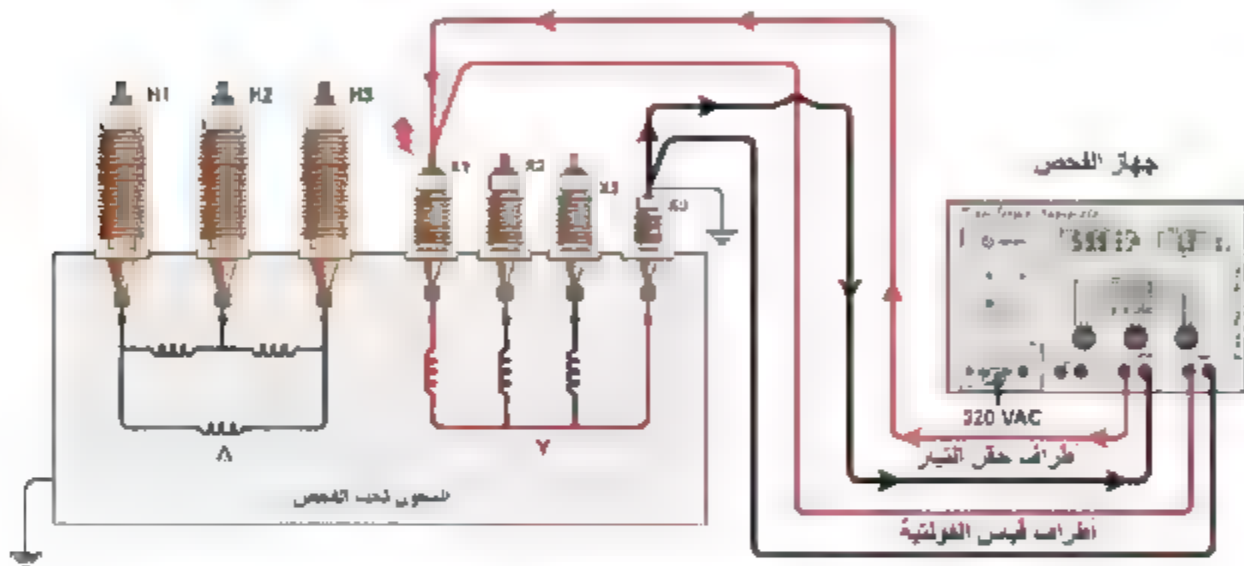
50mA, 500mA, 5A وفقاً لقيمة مقاومته الملقات المراد قياسها وقيمته أيار الإسمي بها الملقات.

11. عمل توصيلة الفحص وفقاً لنوع الملقات المراد فحصها كالآتي.

11.1 في حال كانت ملفات المحول المراد فحصها موصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع إمكانية

الوصول إلى نقطة التعادل (Accessible Neutral Point)، يُمكن تطبيق التوصيلة الموصلة

في الشكل (3-2-3) والتي تقيس التوصيلة الخاصة بقدر مقاومة الملف (X1 - X0)



شكل رقم (3-2-3)

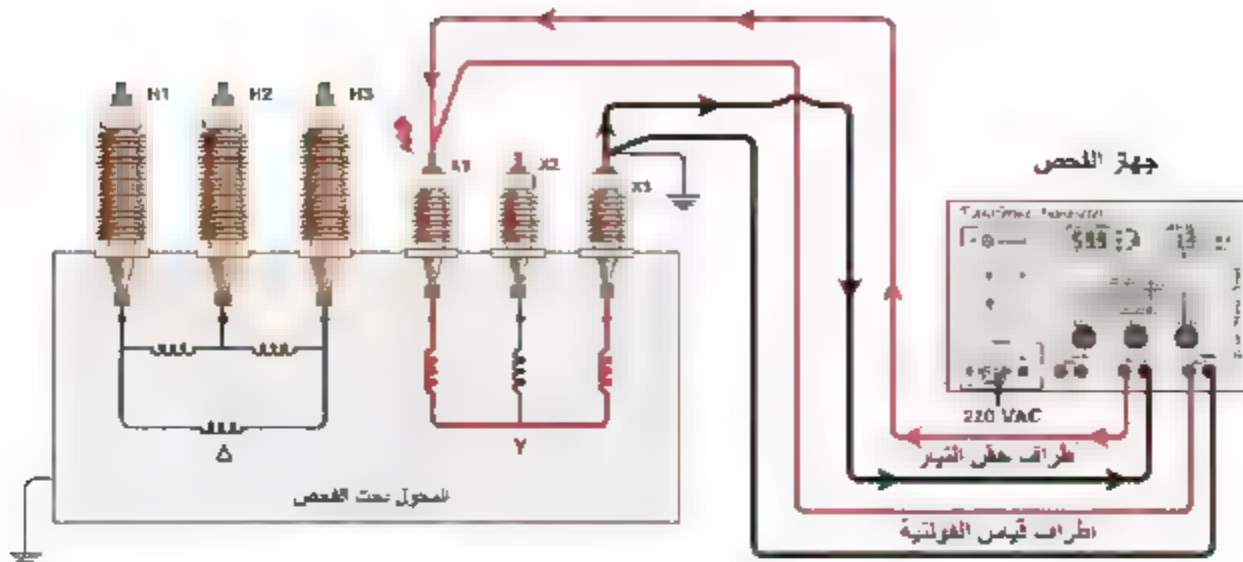
11.2 في حال كانت ملفات المحول المراد فحصها موصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع عدم

إمكانية الوصول إلى نقطة التعادل (Not Accessible Neutral Point)، يُمكن تطبيق

التوصيلة الموصلة في الشكل (3-2-4) والتي تقيس التوصيلة الخاصة بقياس مقاومة ملفين

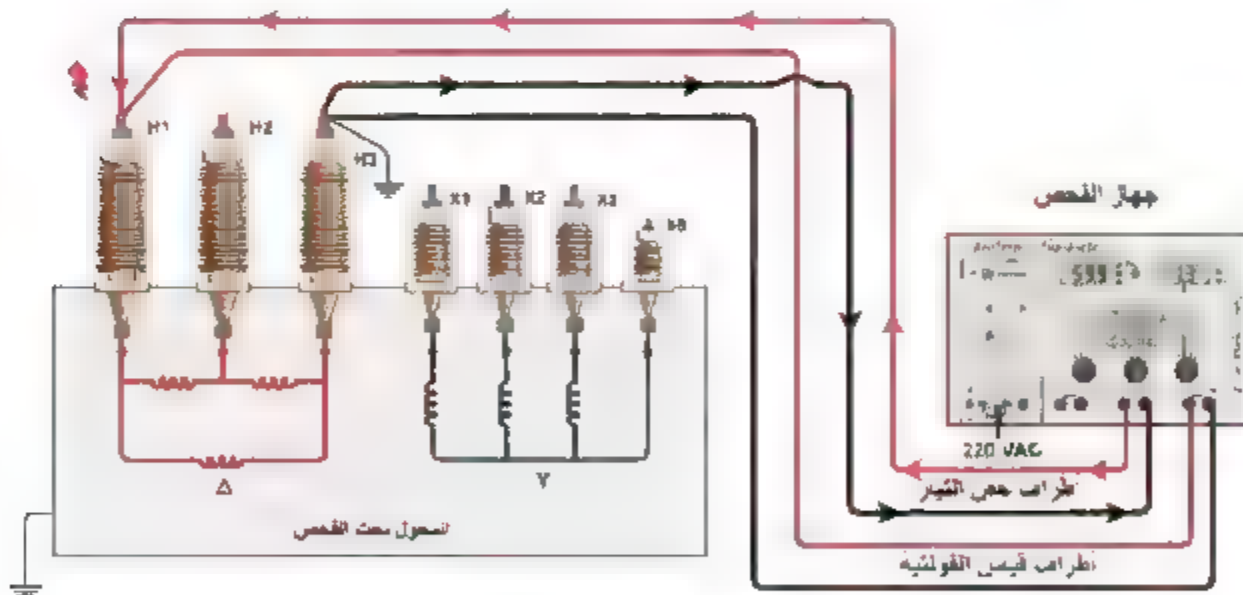
(X1 - X3)، وبحصول على قيمته مقاومة الملف (X1 - X0) يتم قسمه القيمة أخفاه على

(2) وكذلك الحال للحصول على مقاومة الملف (X3 - X0).



الشكل رقم (3-2-4)

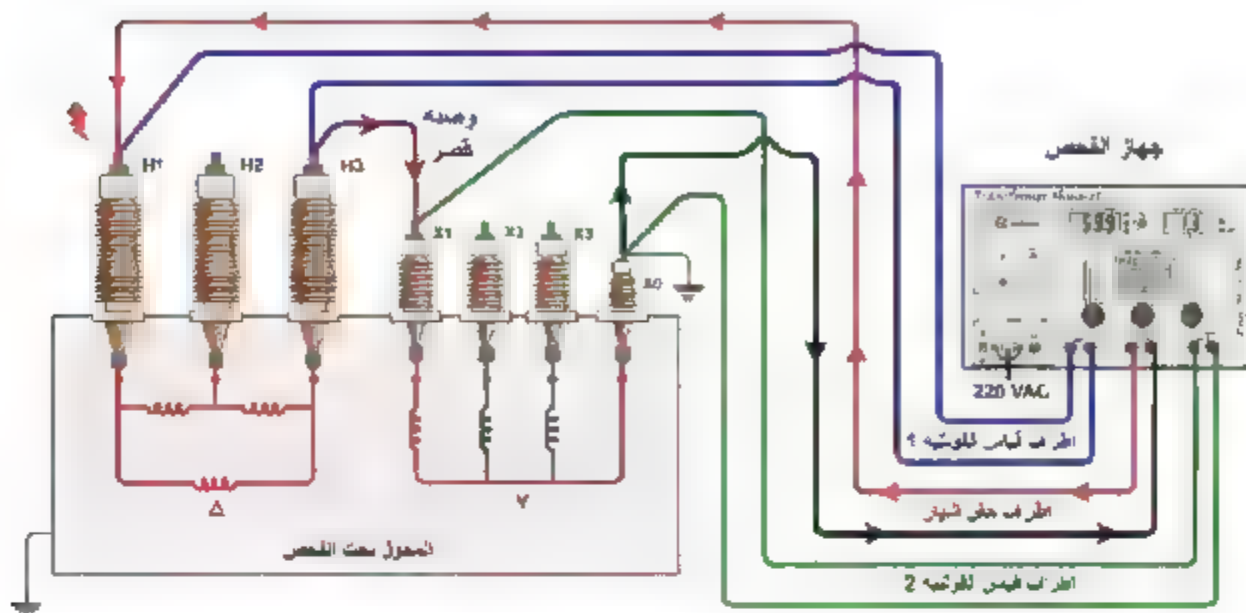
11.3 في حال كانت ملفات المحول الأفراد فحوصها موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ). يمكن تطبيق التوصيلة الموصحة في الشكل (3-2-5) وهي تبيّن البرصية الخاصة بقياس المقاومة المركبة لتوصيلة المثلث $(H1H3 // (H1H2 + H2H3))$ ، ولتحصول على قيمة سدومية الملف (H1 - H3) فقط يتم ضرب القيمة المقاسة بـ (1.5)



الشكل رقم (3-2-5)

11.4 في حال أردنا تطبيق الفحص باستخدام طريقة (HV Assist) أو كما تُسمى بطريقة الـ (Dual Windings) يمكن تطبيق التوصيلة الموصحة في الشكل (3-2-6) والخاصة بمحول ذو مجموعة توصيل (Dyn5) كمثال، حيث يبين الشكل قياس مقاومة الملف (H1 - H3) والملف (X1 - X0) (تم تلوين أسلاك التوصيل الخاصة بقياس لقوتيه في الشكل الذي الأرق)

والأخضر انميرهما عن نسلاك حقن التيار ونسنتين فهم التوصيه، أما في الواقع فإن أنسلاك يكون ذات لون أسود وأحمر)



الشكل رقم (3-2-6)

12. تشغيل جهاز القصر عن طريق مفتاح التشغيل (ON) رقم (3)، و التأكد من إضاءة لمبة الإشارة التي بعيد الجاهزية (READY Indicator Lamp) رقم (4) المضاءة في الشكل (3-2-2)
13. اصبع مدبباً على مفتاح بدء القصر/الفرغ رقم (11) لأبى أى على وضعه بدء القصر (Initiate) والإستمرار بالضغط حتى تير لمبة الإشارة التحذيرية التي بعيد حقن التيار (ON Warning Indicator Lamp) رقم (12) وبعد ذلك سوف عن ضغط
14. ستظهر قيمة التيار كسبة مئوية (%) على شاشة العرض (A) رقم (13) و بعد إستمرار هذه القيمة ، ستظهر قيمة مقاومة السعاب على شاشة العرض (B) رقم (14) المظاهرة في شكل (3-2-2)

ملاحظة: أما في حال إستخدام طريقة القصر الموصحة بالشكل (3-2-6) أو كما تسمى بطريقة (Dual winding)، فإن سبعة القصر ستظهر على شاشة العرض (A & B) لكل من السعاب تحت القصر



ملحوظة: للمحولات الصغيرة عادة ما يكون لرمز الإنذار شات التيار بالثنوي والمحول الكبير بالدائق والمعاد الموصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) أكثر قليلاً نظراً للتيارات الدوارة كما ورد في كتيب التعليمات الخاص بهذا الجهاز [MEGGER, Manual AVTM830280 Rev.C]



- 15 بعد شات قيمة المقاومة المظاهرة على شاشة العرض (B) رقم (14)، يُمكن بعد وضعه مفتاح خسر امدى رقم (5) (B) وذلك للتحكم ب نطاق اقرات (Range) المظاهرة على الشاشة

مثال: د أردت قيام بقياس مقاومه محول وكنت على علم مسبق (من الفحوصات اموقعيه أو لمصعنة) أن قيمة المقاومة حوالي (1.3 mΩ) فيه بهذه الحالة يتم ضبط التيار على (50 mA) أو أكثر ونطبق قراءة الـ (Range) على (2 mΩ) كما هو مبين بالشكل مسبق

- 16 بعد الانتهاء من الفحص يتم الضغط مطولاً على مفتاح بدء الفحص / تفريغ رقم (11) لأسفل في حلق وسبعية التسريع (Discharge) لإيقاف الفحص والبدء بالتفريغ، بحيث يتم الإستمرار بضغط حتى يضيئ منه الإشارة التحذيرية التي تعيد تحقق نوار (ON Warning Indicator Lamp) رقم (12) الظاهر في الشكل (3-2-2) وبعد ذلك يتوقف عن الضغط.
- 17 نقوم بكرر هذه الفحص على جميع الأنوار الخلفي الجهد المرتفع والمنخفض.

ملحوظة: في حال تم فحص محول ذو دُعَتر خطوه (Tap-changer)، يجب إيقاف حقن التيار قبل تغيير وضعيته والانتقال من خطوة لأخرى



تحذير: بعد الانتهاء من الفحص وتفريغ الطاقة مخزنة بالبطاريات ثم بإزالة أسلاك التوصيل عن أطراف المحول قبل إزالتها عن جهاز الفحص.



الملحق (3-3)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات المحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط ، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جـ_____ دأ وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة ملفات المحول باستخدام جهاز Transformer Ohmmeter MTO210 by MEGGER



الشكل رقم (3-3-1)

• مواصفات الجهاز: حسب (MEGGER MTO210 Data sheet)

120/240 V, 50/60 Hz, 720 VA	قدرة المدخل
10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A (dc)	نطاق تيار المحرك
توليد ويحكم الكروي.	آلة تروية التيار
40 V (dc)	فولتية فحص (DC)
Up to 20 V (dc)	فولتية قياسات
مدخلين منفصلين لقياس المقاومة في نفس الوقت	مدخل قياس "مقاومة
إغلاق تلقائي في حال حدوث أي قطع في أسلاك التوصيل أو	لحميه
فقدان القدرة المدخل ، خاصية مخازن الفحص ، وعمل تفريغ (Discharge) سطاقه المخزنه	
في المعبه تحب الفحص بالإصافه لوجود حصية إزالة المغنطة (De-magnetization) بعد	الإنهاء من الفحص

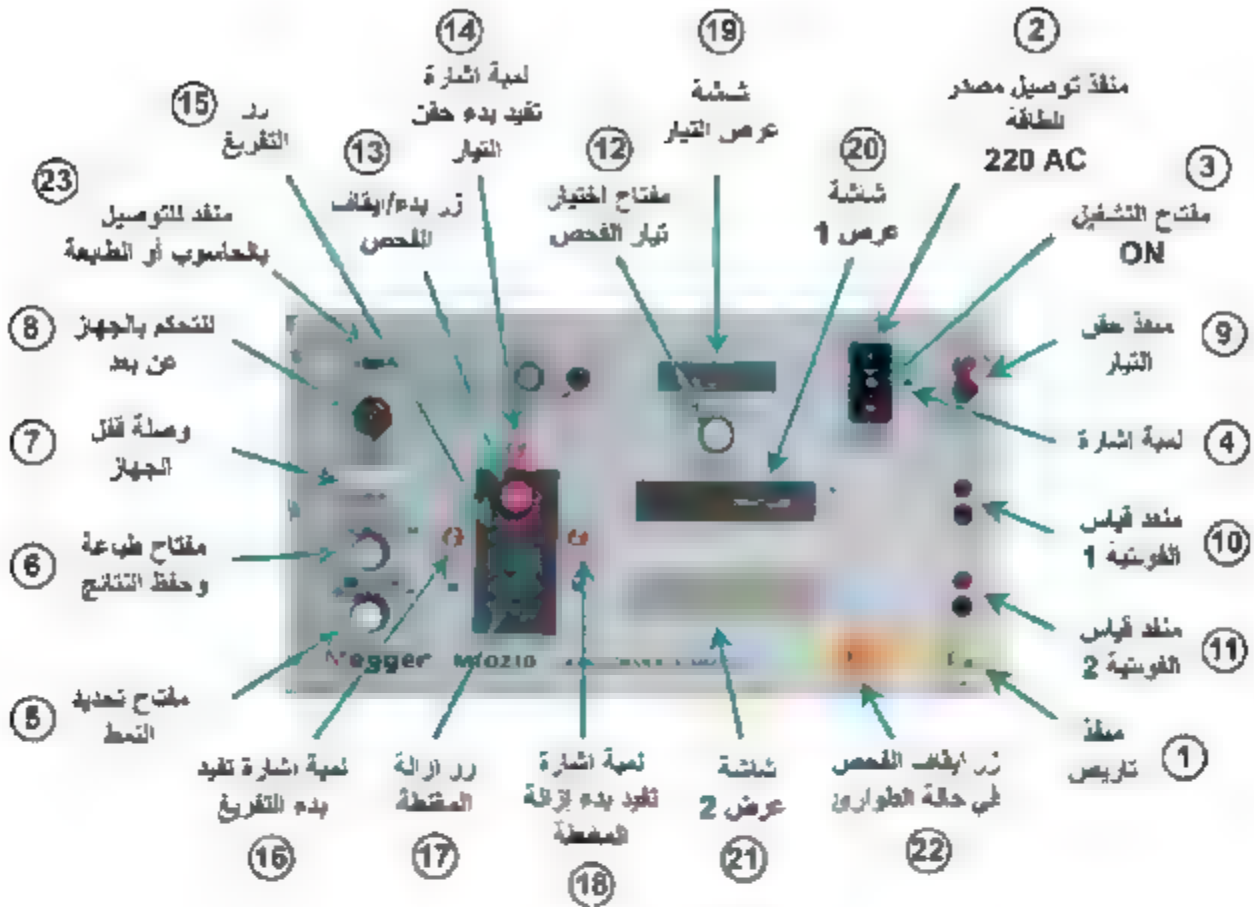
الحماية من ارتفاع الحرارة ، إغلاق تلقائي مع وجود لمبة إشارة تحديده عند تحطي حدود الحرارة المسموح بها لحماية جهاز الفحص.
طبق المقومات المُقاسة : حسب الجدول التالي.

0.000001	10 $\mu\Omega$ to 0.20 Ω	10 A
0.0001	0.2 Ω to 2 Ω	10 A
0.00001	100 $\mu\Omega$ to 2 Ω	1 A
0.001	2 Ω to 20 Ω	1 A
0.0001	1 m Ω to 20 Ω	100 mA
0.01	20 Ω to 200 Ω	100 mA
0.001	10 m Ω to 200 Ω	10 mA
0.1	200 Ω to 2000 Ω	10 mA

- الدقة : * 0.1% Typical, * 0.25% Guaranteed .
- بيئته : تشغيلية ، محيطية : 14° F to 122° F (-10° C to 50° C) RH to 90%, Non condensing
- بيئته : اختبارية ، محيطية : -40 to 158° F (-40 to +70°C)
- أبعاد الجهاز : 216 H x 546 W x 330 D mm :
- وزن الجهاز : Net 29 lb. (13.1 kg) :

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

- 1 لتأكد من تطبيق الخصائص (6.1 إلى 6.8) الواردة في فقرة خطوات الفحص من فصل فحص مقاومة الملفات
- 2 لتأكد من أن الدارة المراد فحصها غير مكهربة وعدم وجود احتمالية كهربائها أثناء الفحص
- 3 حسب مس دوائر الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد لتأكد من عدم وجود فوئية وأن الملفات تم تفريغها من الشحنات المخزنة تماماً.
- 4 لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك المشابك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أية ضرر فيزيائية كاشقوق أو لكسور
- 5 لتأكد من أن جهاز الفحص المراد استخدامه معاير (Calibrated)
- 6 قبل البدء بالفحص يُنصح بالتعرف على أجزاء الوجهة الرئيسية للجهاز من شاشة ومساعد وأزرار ومفتاح تحكم وللمبات إشارة كما هو مبين بالشكل (2-3-3)

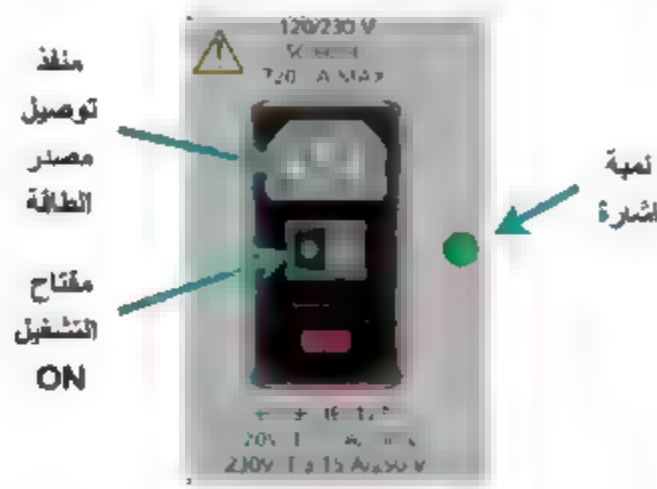


الشكل رقم (2-3-3)

7. نهضة مصفحة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية.
 - 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للاشتعال في منطقة الفحص.
 - 7.3 التأكد من انهوية الحزمة المنطلقة من جهاز إذا كانت معلنة.
 - 7.4 التأكد من سلامة نظام التأسيس في منطقة الفحص.
 - 7.5 وضع حواجز حول منطقة الفحص وشوخص بعيدة عن حدود فحص ذو فوئيه ونيار خطر.
8. جزار جهاز الفحص (MT0210) إلى الموقع مع مرعاء وضع الجهاز بأصل وعدم تعرضه لأشعة الشمس المباشرة وقت طويل، حيث أن الحرارة الشمسية للجهاز يجب ألا تزيد عن (50°) درجة مئوية.
9. وصل جهاز الفحص بالأرض (Local station earth) عبر مفند بأرض (Wing Nut) رقم (1) في الشكل السابق بواسطة الكيس المرفق مع الجهاز من قبل الشركة المصنعة (4.5m) متر.
10. أياكاً من أن حزن المحول موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار بأرض ذو معاوقة قليلة (Low Impedance).
11. لتأكد من أن كبل الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز الفحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقه (Impedance) بفر عن (100mohms) مي أوم.
12. توصيل جهاز الفحص بمصدر الطاقة الكهربائية عبر المفند (2) المبين في الشكل (2-3-3).

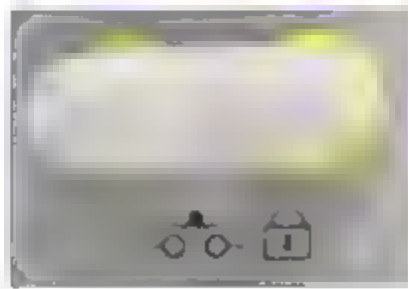
13. التأكد من وضعية المفاتيح كالآتي:

13.1 مبدع التشغيل رقم (3) في الشكل (3-3-2) على وضعية (OFF - 0) كما هو موضح في الشكل (3-3-3).



الشكل رقم (3-3-3)

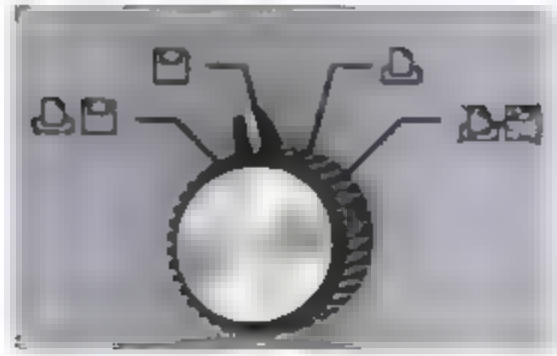
13.2 ودملة قفل الجهاز رقم (7) في الشكل (3-3-2) يجب أن يكون مُعلقة بواسطة (Jumper) كما هو مبين في الشكل (3-3-4) في حال عدم استخدام أي إشارة خارجية (إيقاف) الفحص أو منع تشغيله. وفي حال فتح هذه الودملة، يظهر على شاشة العرض 1 كلمة (IntLoc) والتي تعيد فحص جهاز الفحص



الشكل رقم (3-3-4)

13.3 مفاتيح مساعده وحفظ النتائج رقم (6) في الشكل (3-3-2) يقوم بإختيار وحدة من بوضعيات التالية والمبينه في الشكل (3-3-5).

- ✓ وضعية طباعة وحفظ نتائج لفحص (Print and Save Data)
- ✓ وضعية حفظ النتائج فقط (Save Data).
- ✓ وضعية طباعة النتائج فقط (Print Data).
- ✓ وضعية عرض النتائج على شاشة فقط (Just Display Data)



الشكل رقم (3-3-5)

13.4 مفتاح تحديد النمط رقم (5) في الشكل (3-3-2)، يقوم بإختيار وضعيه لفحص (Test Mode) المُشار إليها في الشكل (3-3-6).



الشكل رقم (3-3-6)

13.5 مفتاح إختيار التيار رقم (12) في الشكل (3-3-2)، يتم من خلاله تحديد قيمة تيار الفحص المُراد فحصه (10mA, 100mA, 1A, 10A) وهذا لقياس مقاومة الملفات المُراد قياسها، وقيمة التيار الإسمي لهذه الملفات كما هو مبين في الشكل (3-3-7).

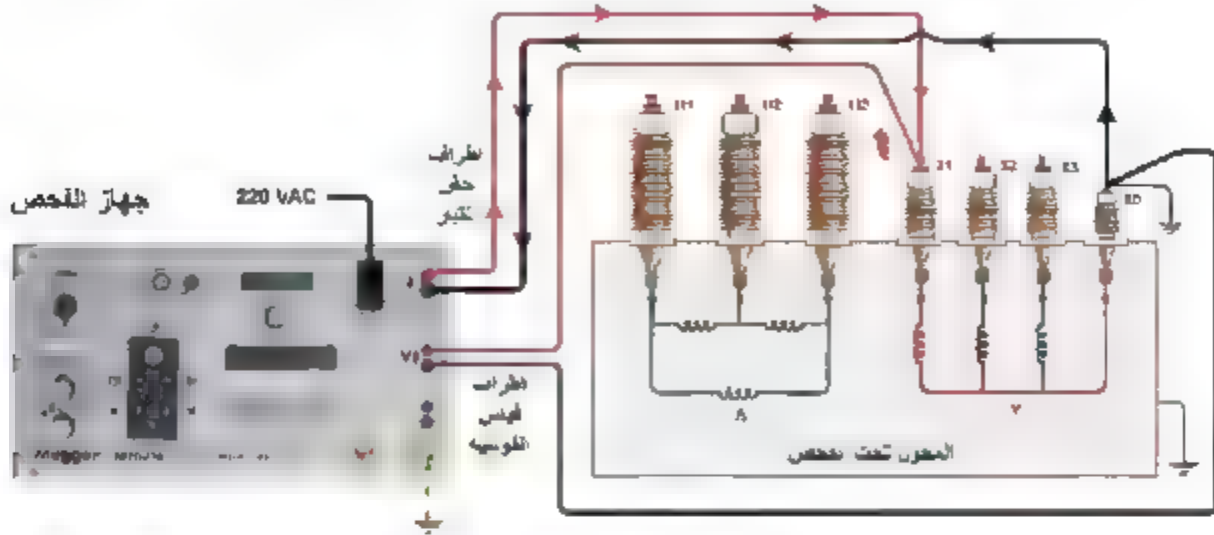


الشكل رقم (3-3-7)

14 وصير زوج الأسلاك الخاص بحسن التيار عن المقياس رقم (9) في الشكل (3-3-2) (على جهاز لفحص فقط، لا على المحول)

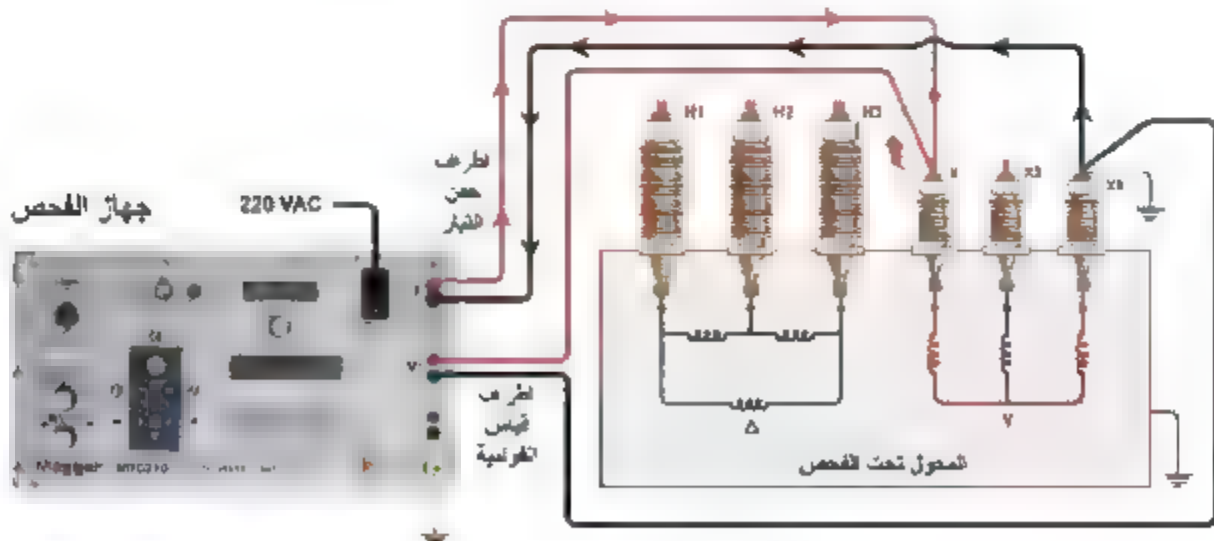
15 وصير زوج الأسلاك الخاص بقياس الفولتية عن المقياس رقم (10) في الشكل (3-3-2) (على جهاز لفحص فقط، لا على المحول)

16. عمل توصيلة محصل (توصيل الأسلاك بالمحول) وفقاً لنوع الحملات مُرَد فحصها كالآتي
 16.1 في حال كانت ملفات المحول المُرَد فحصها متوصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع إمكانية
 الوصول إلى نقطة التعادل (Accessible Neutral Point)، يمكن تطبيق التوصيلة
 الموضحة في الشكل (3-3-8) والتي تسمى التوصيلة الخاصة بقياس مقاومة الملف (X1 - X0)



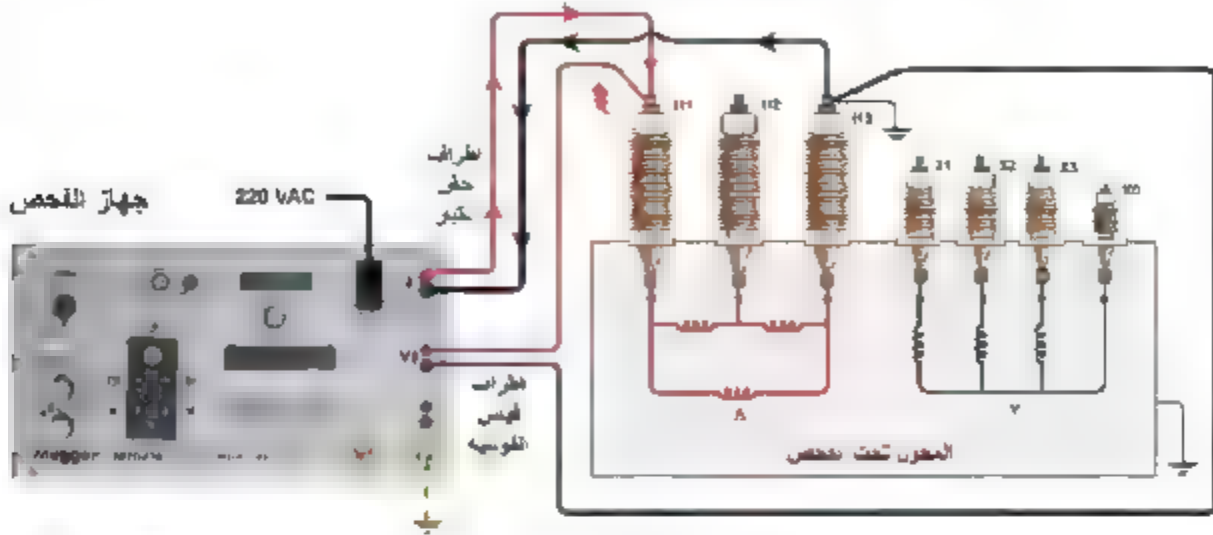
الشكل رقم (3-3-8)

16.2 في حال كانت ملفات المحول المُرَد فحصها متوصولة على شكل نجمة (Star - Y) مع عدم
 إمكانية الوصول إلى نقطة التعادل (Not Accessible Neutral Point)، يمكن تطبيق
 التوصيلة الموضحة في الشكل (3-3-9) والتي تسمى التوصيلة الخاصة بقياس مقاومة ملفات
 (X1 - X3)، والاحصول على قيمة معاومة الملف (X1 - X0) بتم قسمة القيمة المأخوذة على
 (2) وكذلك الحال للحصول على مقاومة الملف (X3 - X0)



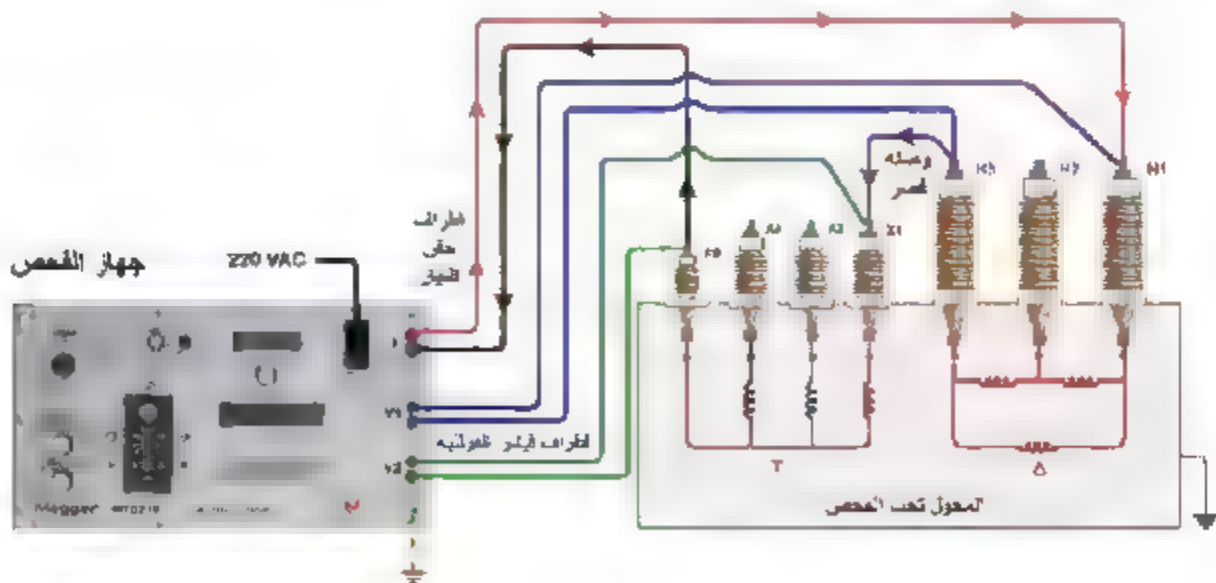
الشكل رقم (3-3-9)

16.3 في حال كانت ملفات المحول المفرد فحصيلها موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)، يمكن تطبيق التوصية الموصحة في الشكل (3-3-10) والتي تتيح التوصيلة الخاصة بقياس المقاومة لمركبة التوصيلة المثلث ($H1H3//H1H2+H2H3$)، ولتحصول على قيمة مقدومة الملف (H1 - H3) فقط يتم ضرب القيمة المقاسة بـ (1.5)



الشكل رقم (3-3-10)

16.4 في حال أردنا تطبيق الفحص باستخدام طريقة (HV Assist) أو كما نسمي بطريقه (Dual Windings) يمكن تطبيق التوصيلة الموصحة في الشكل (3-3-11) والخاصة بمحول ذو مجموعته توصيل (Dyn5) كمثال، حيث يتم بشكل قياس مقدومه الملف (H1 - H3) و سلف (X0 - X1) رقم تلوين أسلاك التوصيل الخاصة بقياس التوتية في الشكل التالي الأروى والأخضر اللينيرهما عن 'سلاك' حق التيار ويسميين فهم التوصيلة، أما في الواقع فإن لأسلاك تكون ذات لون أسود وأحمر



الشكل رقم (3-3-11)

17. تشعين جهاز الفحص عن طريق مفتاح التشغيل (ON) رقم (3) و المدمج مع منهج توصيل مصدر لموتية في (AC input power module)، و لتأكد من إداره ائمه بإشارة حصره لكون رقم (4) في الشكل (3-3-2) التي تفيد الحافرية.
18. لتأكد من عدم وجود أية مشاكل في جهاز الفحص نفسه، فعند تشعين يقوم جهاز الفحص بعمل فحص ذاتي (Self-test) وإظهار رسائل تفيد بوجود مشاكل في الجهاز إن وجدت
19. ملاحظة ظهور كلمة (READY) على شاشة عرض التيار رقم (19) و ظهور درجة حرارة الجو عند الفحص على شاشة العرض 1 رقم (20) بحيث يمكن تغيير قيمة هذه الحرارة باستخدام الأسهم للأعلى وأسفل.
20. لصعد على زر بدء الفحص رقم (13) و بعدها تظهر ائمة بإشارة استجابة رقم (14) ولتي تصد بدأ حقن السير، في هذه الأثناء ستظهر قيمة التيار المحقون في السحب على شاشة عرض التيار رقم (19) ويظهر عدد لثواني على شاشة العرض 1 رقم (20) و بعد ثبات ائمة تختفي عدد لثواني وتظهر قيمة مقاومة الملفات.
21. يمكن الضغط على زر بدء الفحص رقم (13) لإيقاف حقن السير و بدء التعرّيج أو يمكن إيقاف الفحص و بدء التعرّيج بالضغط على زر التعرّيج رقم (15) مباشرة حيث سيغير ائمة الإشارة رقم (16) بشكل متتابع ائمة بأن عملية التعرّيج قد اكتملت ومن ثم سيبدأ بشكل كاس عند إتمام التعرّيج
22. بعد الإتمام من عملية التعرّيج يمكن نقل أسلاك لتوصيل بجدار الملفات الأخرى لقياس مقاومتها.
23. يقوم تكرار هذه الفحص على جميع الأنوار السحب الجهاز، المرتفع والمنخفض
24. بعد الإتمام من الفحص بشكل نهائي أي على جميع الملفات، ولأنه يمكن عمل إزالة المغنطة ائمة احادي (Core De-magnetization) عبر الضغط على زر إزالة المغنطة رقم (17) وملاحظة إشارة لمبة الإشارة رقم (18) لحين إنتها إزالة المغنطة.

ملحوظة: المحولات الصغيرة عادة ما يكون ائمة اللازم لشب السير لثواني ولمحولات الكبيرة بالدقائق والملفات الموصلة على شكل منث (Delta - Δ) أكثر قليلاً نظراً للسرعة المدوّرة كما ورد في كتيب التعليمات الخاص بهذا الجهاز [MEGGER .AVTM830280 Rev.C]



ملحوظة: في حال تم فحص محول أو مُعَيَّر خطوة (Tap-changer)، يجب إيقاف حقن التيار قبل تغيير وضعيته والانتقال من خطوة لأخرى



تحذير: في حال أردت إيقاف الفحص لأسباب طارئة يمكن الضغط على زر إيقاف الفحص في حالة الطوارئ (Emergency Push button) رقم (22) في الشكل (3-3-2) لإيقاف الفحص وبدء عملية التعرّيج تلقائياً.



الملحق (3-4)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مقاومة ملفات المحول باستخدام جهاز TESTRANO 600 by OMICRON



الشكل رقم (1-4-3)

• مواصفات الجهاز: حسب (TESTRANO600 Brochure)

- فولتية المدخل الاسمية : 100/240 V, 50/60 Hz
- فولتية المدخل المسموح بها : 85-264 V, 45-65 Hz
- نطاق تيار/فولتية المخرج : حسب الجدول التالي

عدد الأطوار	تدفق التيار (dc)	فولتية المصوتي (dc)
ثلاثي الأطوار	0 ... ±33 A	56 V
	0 ... ±16 A	113 V
أحادي الطور	0 ... ±100 A	56 V
	0 ... ±33 A	170 V
	0 ... ±50 A	113 V
	0 ... ±16 A	340 V

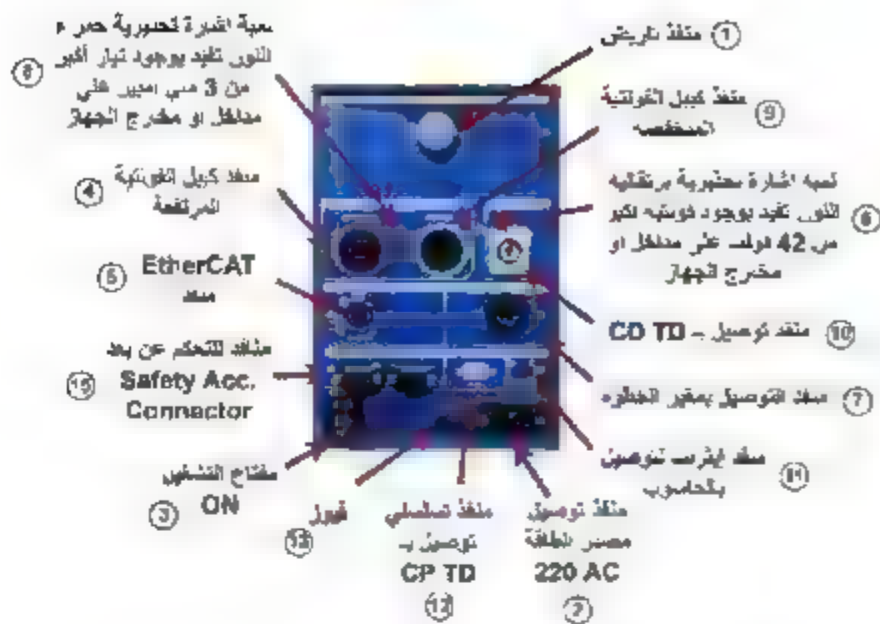
تطبق المقاوّمات المُقاسَة . حسب الجدول التالي.

التيار (dc)	مطاق المقاومه	دقه القراءات
3 A	10 ... 100 Ω	0.1%
	1 ... 10 Ω	0.1%
	0.1 ... 1 Ω	0.1%
30 A	1 ... 10 Ω	0.037%
	0.1 ... 1 Ω	0.04%
	0.01 ... 0.1 Ω	0.033%
	0.001 ... 0.01 Ω	0.037%
	0.0001 ... 0.001 Ω	0.05%
	3 ... 30 m Ω	0.033%
100 A	300 ... 3000 $\mu\Omega$	0.037%
	30 ... 300 $\mu\Omega$	0.05%
	3 ... 30 $\mu\Omega$	0.07%

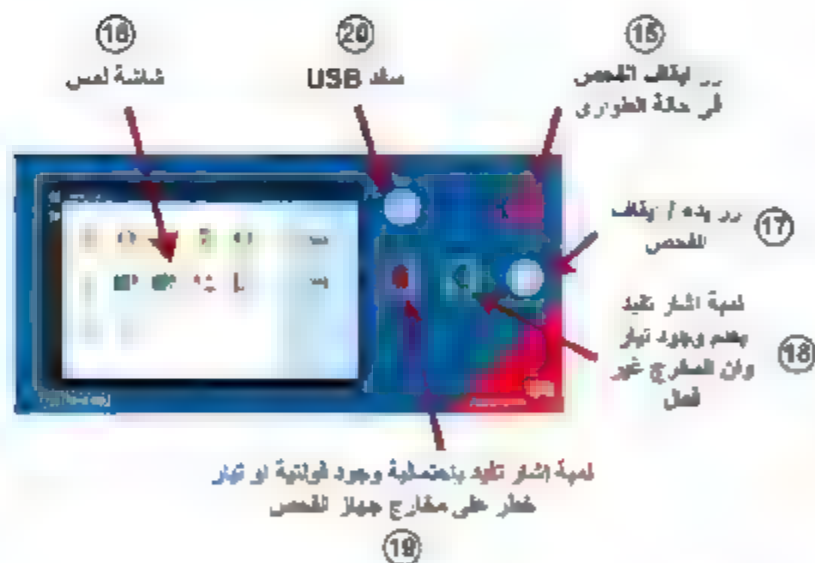
- البيئه ، تشغيلية المحيطية 14° F to 131° F (-10° C to 55° C) RH to 95%, Non condensing
- البيئه ، تخزينية ، محيطية -22 to 158° F (-30 to +70°C) .
- أبعاد الجهاز 580 x 386 x 229 mm :
- وزن الجهاز 45.5 lb. (20.6 kg), with display :

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. التأكد من خلو ، محسوب (6.1 إلى 6.8) اواردة في فترة خطوات الفحص من فحص فحص مقاومة الملفات.
2. التأكد من أن له ثمة المفرد فحصه غير مُكهربة وعدم وجود احتمالية كهربتها أثناء الفحص
3. تجنب لمس دائرة فحص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد التأكد من عدم وجود توتية وأن الملفات تم تفريغها من الشحنات المخزنة تماماً.
4. التأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكدادات المشابك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أية تسري فيرر فيه كاشقوق أو لكسور
5. التأكد من أن جهاز الفحص المفرد يستخدمه معاير (Calibrated)
6. قبل البدء بفحص يُفحص المعرف على أجزاء جهاز الفحص من شاشة ومعد وأزرار ومفاتيح تحكم وملفات إشارة كما هو مبين بالأشكال (3-4-2&3).



الشكل رقم (2-4-3)



الشكل رقم (3-4-3)

7 تهيئة منطقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية

- 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
- 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشتعال في منطقة الفحص.
- 7.3 التأكد من التهوية الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مغلقة.
- 7.4 التأكد من سلامة نظام التأريض في منطقة الفحص.

7.5 وضع حواجز حول منطقة الفحص وشواخص بعيد بوجود فحص ذو فوشيه وسيار حذر

- 8 إحصار جهاز الفحص (TESTRANO 600) إلى الموقع مع مراعاة وضع الجهاز اطلن وعدم تعريضه لأشعة الشمس مباشرة لوقت طوي، حيث أن الحرارة المشعشع عليه بجهاز يجب ألا يزيد عن (55°)

درجة مئوية، وفي حال كانت الحرارة أكثر من (40°) درجة مئوية يجب الرجوع للكتيب التفصيلي (Manual) الخاص بجهاز الفحص لمعرفة التيار الأقصى الذي يُمكن حمله من خلال الجهاز، وكذلك مراعاة جفاف أجزاء الجهاز جميعها قبل تشغيله.

9. لتأكد من أن مفصّل لتشغيل الحاص بجهاز الفحص رقم (3) في الشكل (2-4-3) على وصلة (OFF - 0) الموصلة على المفتاح.
10. لتأكد من ضغط زر إيقاف الفحص في حالات الطوارئ (Emergency Push Button) رقم (15) في الشكل (3-4-3).
11. وصل جهاز فحص بالأرض (Local station earth) عبر مسدّ تاريس رقم (1) في الشكل (3-4-2) بواسطة كابل الفولاذ مع الجهاز من قبل الشركة المصنّعة أو بواسطة كابل تأريض لا يقل مساحته مقطعه العرضي عن (6 mm²) ملي متر مربع أقرب ما يُمكن على تشغيل الجهاز لتسهيل معاوقة التأريض (Impedance) قدر المستطاع.
12. لتأكد من أن حبل المحوّل موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار تأريض ذو معاوقة قليلة (Low Impedance).
13. لتأكد من أن كبل الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقة قليلة (Low Impedance).
14. توصيل جهاز فحص بمصدر الطاقة الكهربائي عبر المندرفة (2) في الشكل (2-4-3).
15. تشغيل الجهاز بواسطة مفتاح التشغيل رقم (3) في الشكل (2-4-3) عن طريق زعم وصميينه من (0) - (1) الموصلة على المفتاح.
16. ملاحظة، زر كل من حبل الإشارة خدراء اللون رقم (18) والحلقة خضراء اللون زر بدء/إيقاف الفحص (Start/Stop) في الشكل (3-4-3) وهذا يعني أن جهاز لا يحقن تيار ولا فولتية كما يظهر في الشكل (3-4-4).



الشكل رقم (3-4-4)

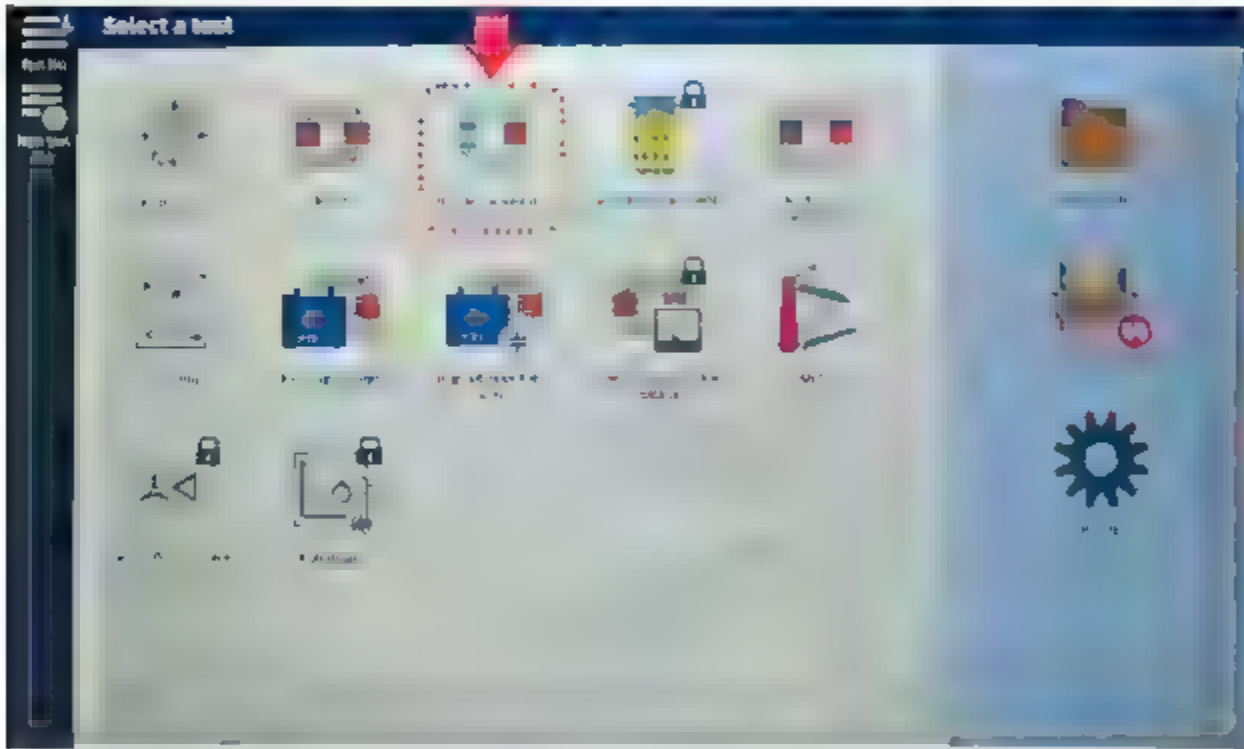
17. في حال كان هناك مشكلة ما في الأرض سوف تظهر رسالة على الشاشة تعيد بذلك وسيظهر العلامة التالية أسفل الشاشة $\frac{1}{2}$ وفي حال عدم إنارة أي ضوء تحلييري أو ظهور أية رسائل

تحديريه على الشاشة فإن ذلك يعني أن الأرضي ولحبار سليمين والجهاز مُهيأ لعمل دقيق لتوصيلات و البدء بالفحص

ملحوظة: يُتيح جهاز الفحص (TESTRANO 600) إمكانية ضبط إعدادات لفحص و إجرائه بطريقتين، الطريقة الأولى بواسطة شاشة اللمس (Touch Control) مباشرة والطريقة الثانية بواسطة توصيل جهاز الحاسوب بجهاز الفحص (TESTRANO 600) ولإتمام الفحص من برنامج (Primary Test Manger - PTM) حيث سيتم التفريق للطريقة الأولى فقط في هذا الملحق.

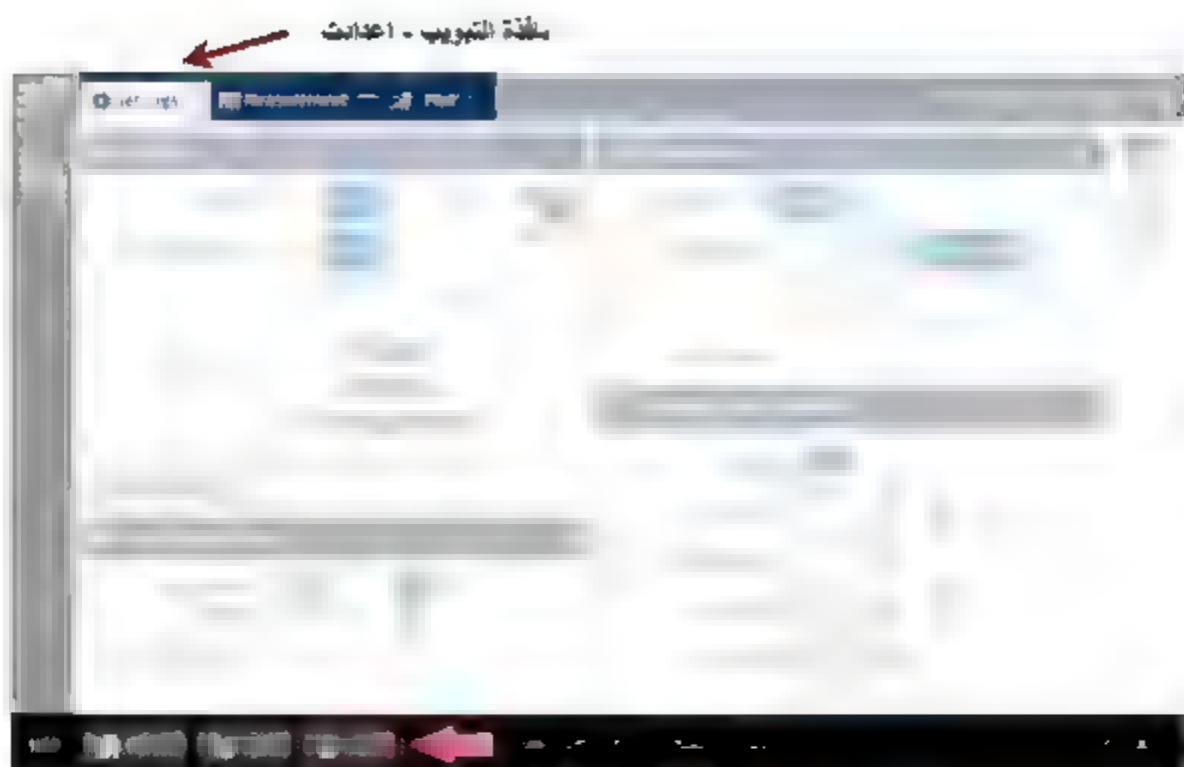


18. اختبار فحص مقاومة ملفات (Winding Resistance) من إمانته الرئيسية الظاهرة على شاشة لمس (Touch Control) والمُنبئة في الشكل (3-4-5).



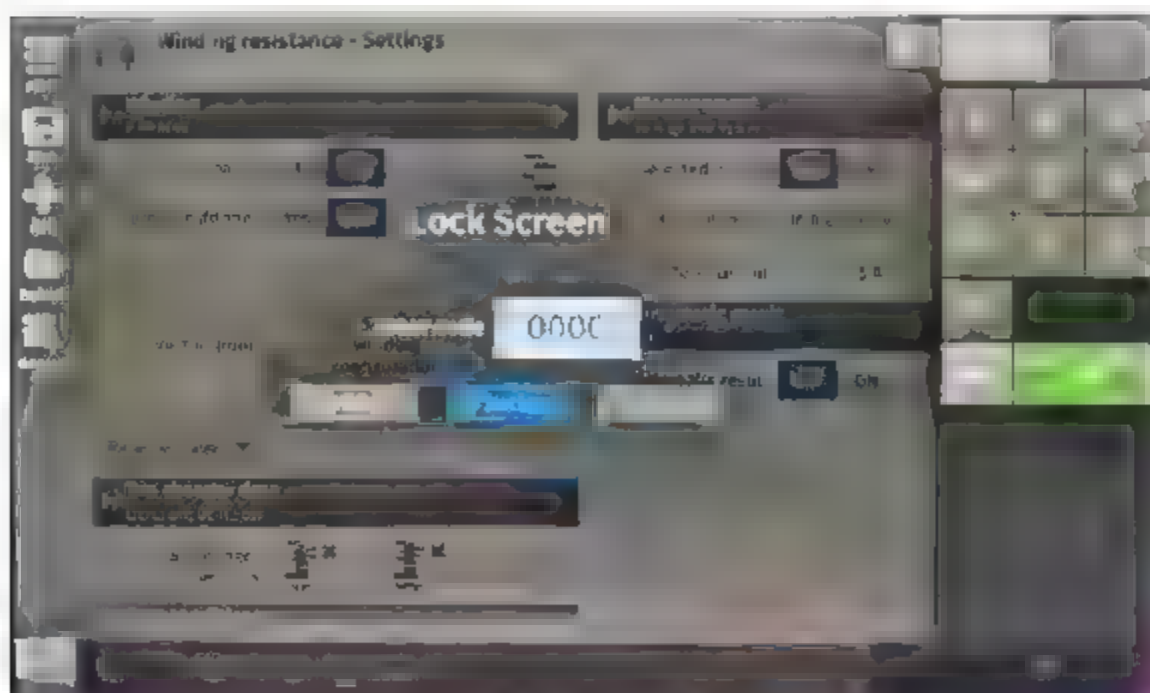
شكل رقم (3-4-5)

19. بعد ذلك تظهر الشاشة المُدبنة في الشكل (3-4-6) و تكون بالعدالة على دقة الترتيب، إعدادات (Settings) تقوم بعمل قفل (Software Lock) المحفوظ على التوضيحية الآتية أثناء عمل التوضيحية السابقة للفحص، وذلك بالضغط على زر العمل الظاهر أسفل شاشة كـ هو مُنبئ في الشكل (3-4-6)



الشكل رقم (3-4-6)

20 بعد الضغط على زر القفل (Lock) المبين في الشكل السابق تظهر لعدد لفرعية المبنية في شكل (3-4-7)، ثم نقوم بإدخال كود رباعي ونضغط على كلمة (Lock). وبذلك نكون قد وصلنا للموضعية الآمنة للجهاز



الشكل رقم (3-4-7)

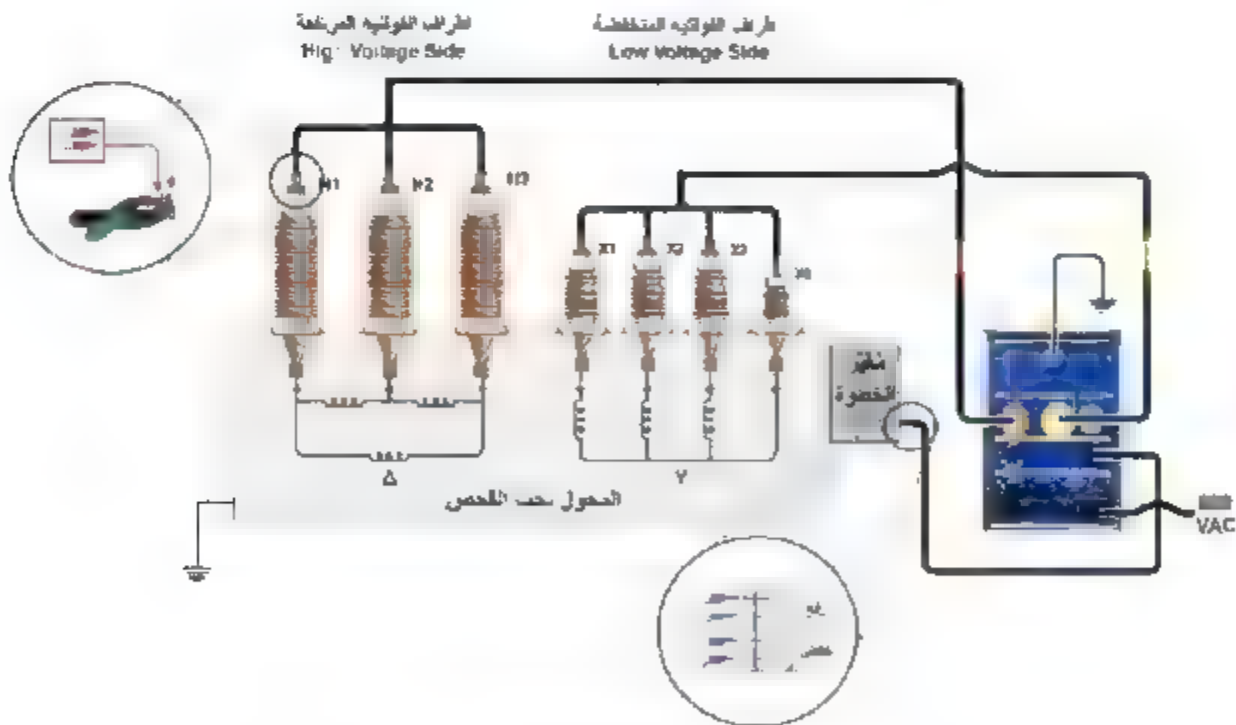
21. توصيل الكوابل المصاهرة في الشكل (3-4-8) بجهاز المحصر حر المصفر المصنعة في الشكل (3-4-2) كالآتي:

- 21.1 توصيل كبل لقوسه المرتفعة (الأحمر) بالمصفر رقم (4) المبين في شكل (3-4-2)
- 21.2 توصيل كبل لقوسه المنخفضة (الأخضر) بالمصفر رقم (9) المبين في الشكل (3-4-2)
- 21.3 توصيل كبل مُعزّل خطوة (الأسود) بالمصفر رقم (7) المبين في الشكل (3-4-2).



الشكل رقم (3-4-8)

22 توصيل كوابل جهاز محصر بالمحول وفقاً للتوصيلة المبينة بالشكل (3-4-9)



الشكل رقم (3-4-9)

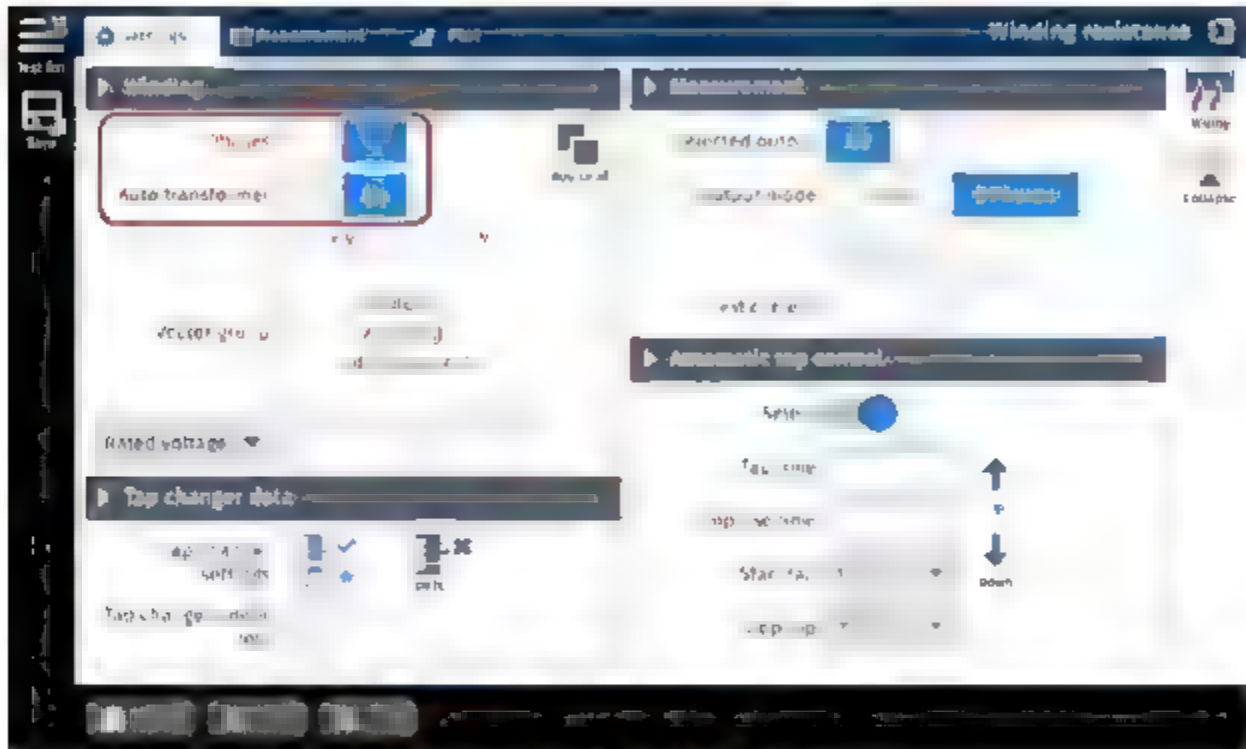
23. رادع صاعقة كهربائية مُعزّل الخطوة (Tap-changer) فيما يلي كابل مقصودة

24. التأكد من نصب حواجز السلامة بالإضافة للشواخص التحذيرية.

25 بعد الإنتهاء من التوصيلة كاملة، يقوم بتحرير (Release) زر إيقاف الفحص في حالة اضوري (Emergency Stop Button)

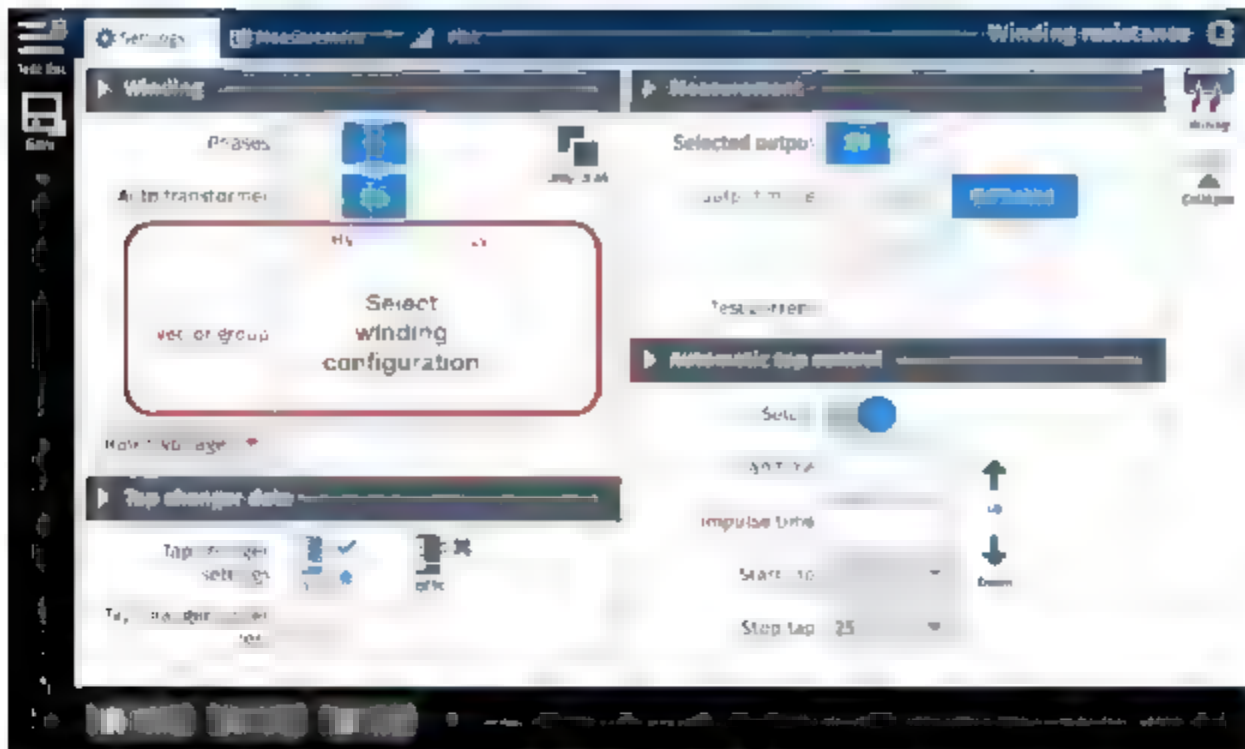
26 لرجوع لشاشة اللمس وإزالة قفل الشاشة عبر إدخال الكود الرياعي والضغط على أيقونة لإزالة القفل. ويمكن كذلك إزالة قفل الشاشة عبر إطفاء إلهار وشعبه مرة أخرى.

27. من الشاشة الظاهرة في الشكل (3-4-10) والتي تكون بائدانة على نافذه التوبيط، بعددات (Settings) يتم تحديد عدد أطوار المحول المفرد فحصة بالضغط على رقم (3) أي أنه ثلاثي لطور (3 phase transformer)، ثم يتم الضغط على (No) بجانب المحول التبدلي (Auto Transformer)



الشكل رقم (3-4-10)

28 تحديد مجموعة التوصيل (Vector group) الخاصة بالمحول المفرد فحصة وذلك بالضغط على جملة إختيار مجموعة التوصيل (Select winding configuration) الظاهرة على الشاشة والمبينة في الشكل (3-4-11) لتظهر لنا شاشة تحديد مجموعة التوصيل



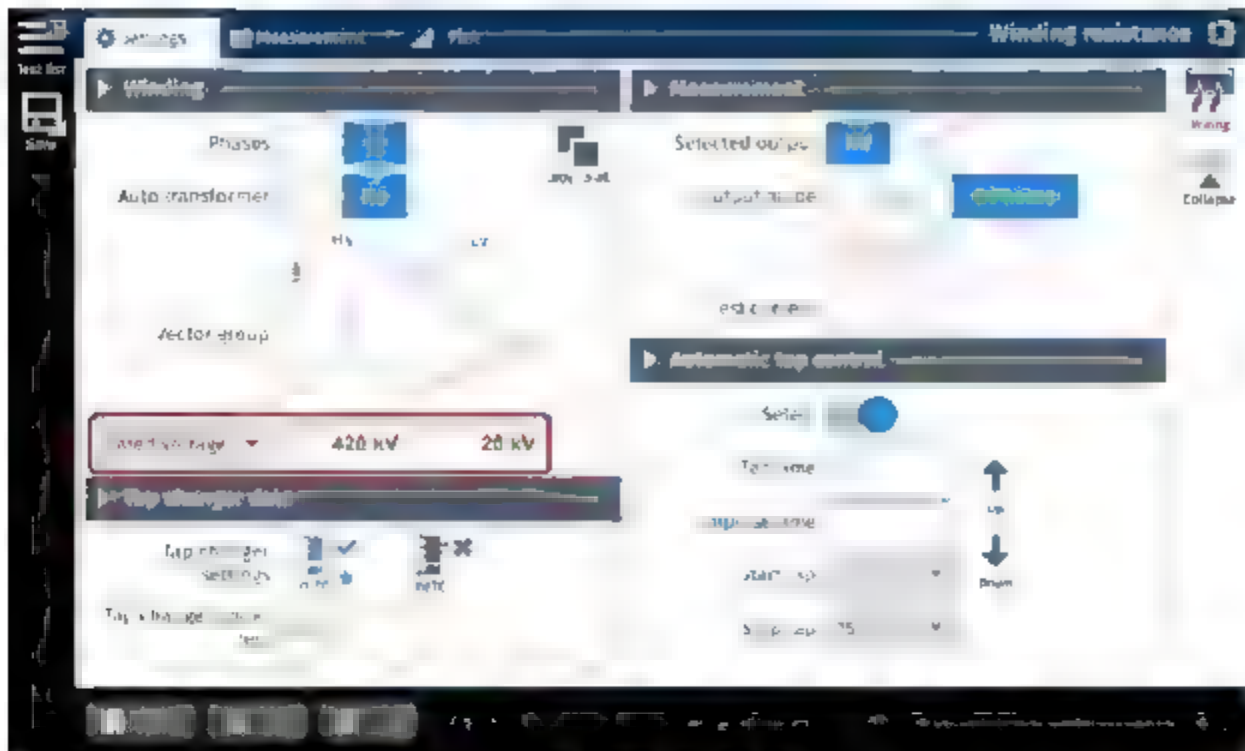
الشكل رقم (11-4-3)

29 مر شاشة تحديد مجموعة اتوصيل لظاهرة في الشكل (12-4-3) نعلم تحديد مجموعة اتوصيل الخاصة بالمحول أفراد فحصة، حيث ثم تحديد المجموعة (YNd11) كمثل ثم اضغط على زر حفظ (Save).



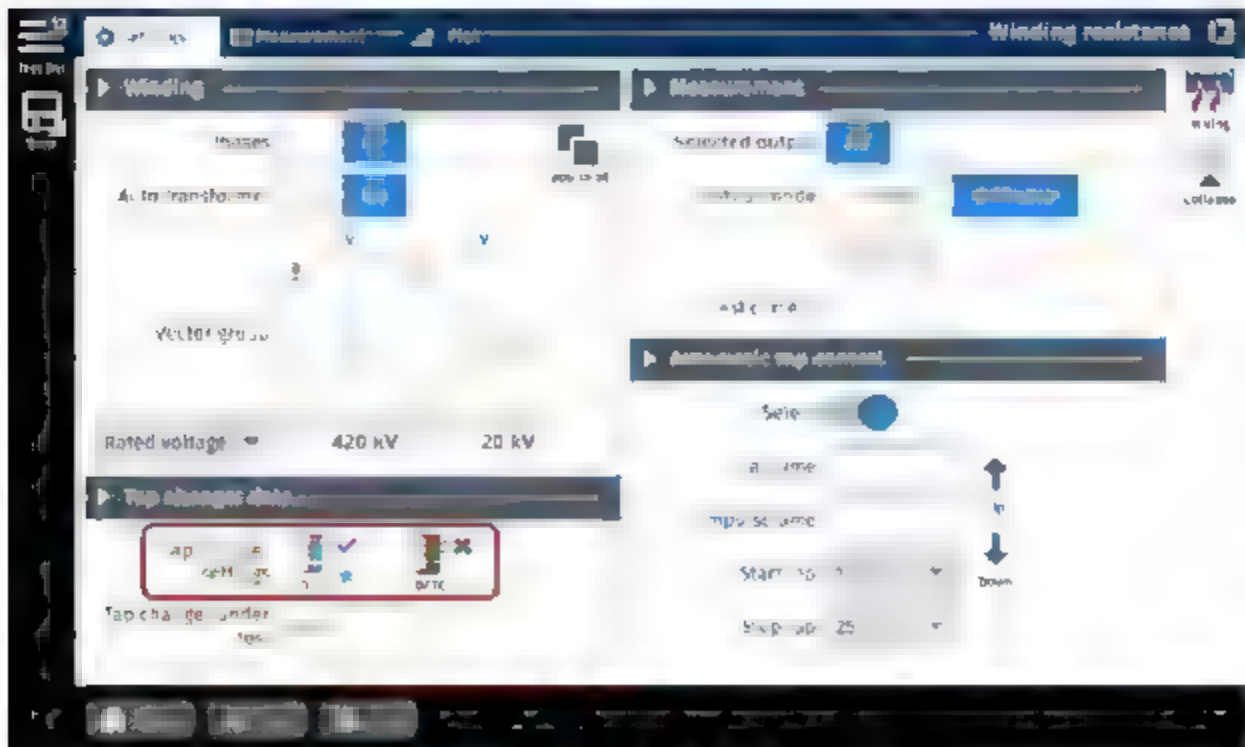
الشكل رقم (12-4-3)

30 تحديد العولية الاسمية للمحول أفراد فحصة وذلك بإدخال قيمة هذه العولية بالمكان المخصص لها كما هو مبين بالشكل (13-4-3)



الشكل رقم (3-4-13)

31 تحديد نوع مُعزّز التخلّوَة (Tap Changer) فيما إذا كان (OLTC أو DETC)، وفي حالنا هذه نعوّم
مُعيّر (OLTC) وذلك بالصيغة التالية: هو مبدئيًا بالشكل (3-4-14)



الشكل رقم (3-4-14)

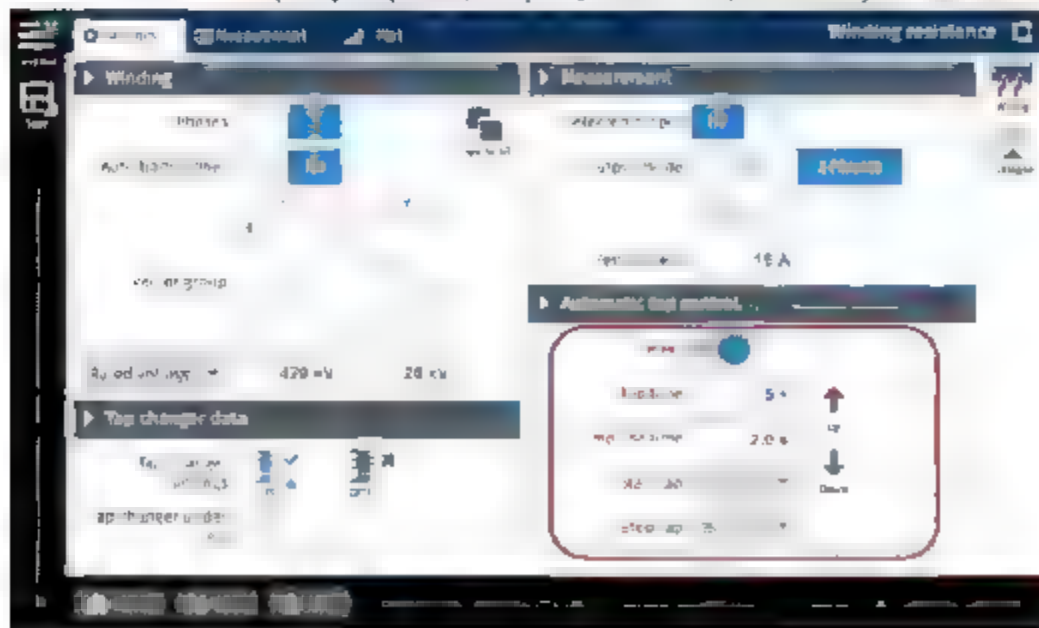
32. تحديد نمط المخرج (Output mode) بالضغط على (3 phases) وذلك لتفعيل الفحص بالنمط ثلاثي الطور، وكذا لك تحديد فولتية ونسبة الفحص كما هو مبين في الشكل (3-4-15)



الشكل رقم (3-4-15)

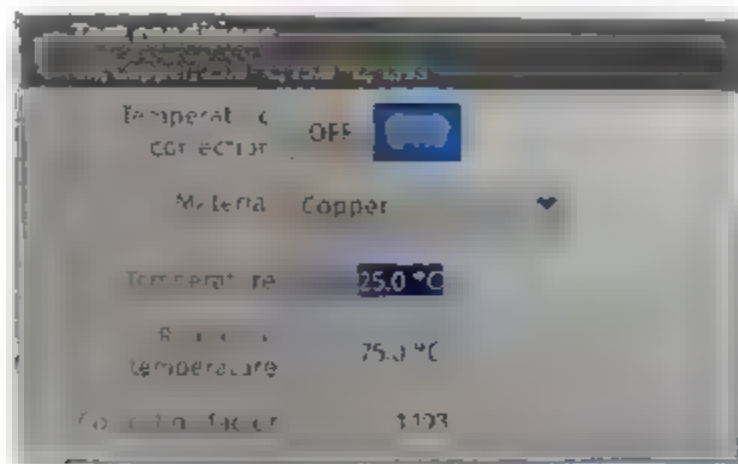
33. ضبط إعدادات مُعَيِّر الفحص (Tap Changer) في حال تم اختيار (OLTC) كما هو مبين في الشكل (3-4-16) ووفقاً للخطوات التالية

- 33.1 تحديد وضع التغير بين المستويات (Taps) يدوي (Manual) أو تلقائي (Automatic)
- 33.2 تحديد زمن التغير بين الخطوات (Tap time)
- 33.3 تحديد مدة إشارة التغير بين الخطوات (Impulse time).
- 33.4 تحديد خطوات بداية (Start Tap) وخطوات النهاية (Stop Tap)



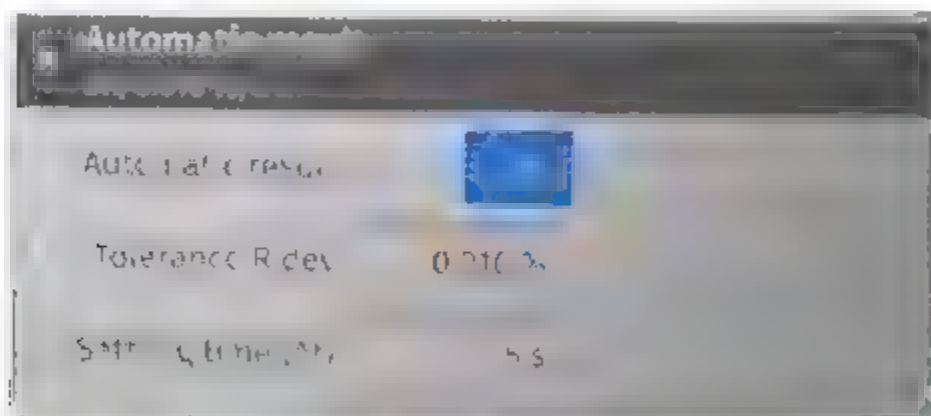
الشكل رقم (3-4-16)

34. لتصحيح قيمة المدونة المُقاسمة لقيمة الحرارة المرجعية يمكن ضبط الإعدادات التالية في نفس لنافذة الرئيسية بالأسفل لهذا الفحص كما هو مبين بالشكل (3-4-17)، وذلك بإختيار (ON) لتفعيل لتصحيح وإختيار لمدة مكونة للمقاي و إدخال قيمة درجة حرارة المنصب عند الفحص ومن ثم اختيار قيمة درجة الحرارة المرجعية وفقاً لما تم شرحه مسبقاً في فقرة تصحيح القيمة المُقاسة من فصل فحص مقاومة الملفات وعادة ما تكون (75°C) درجة مئوية.



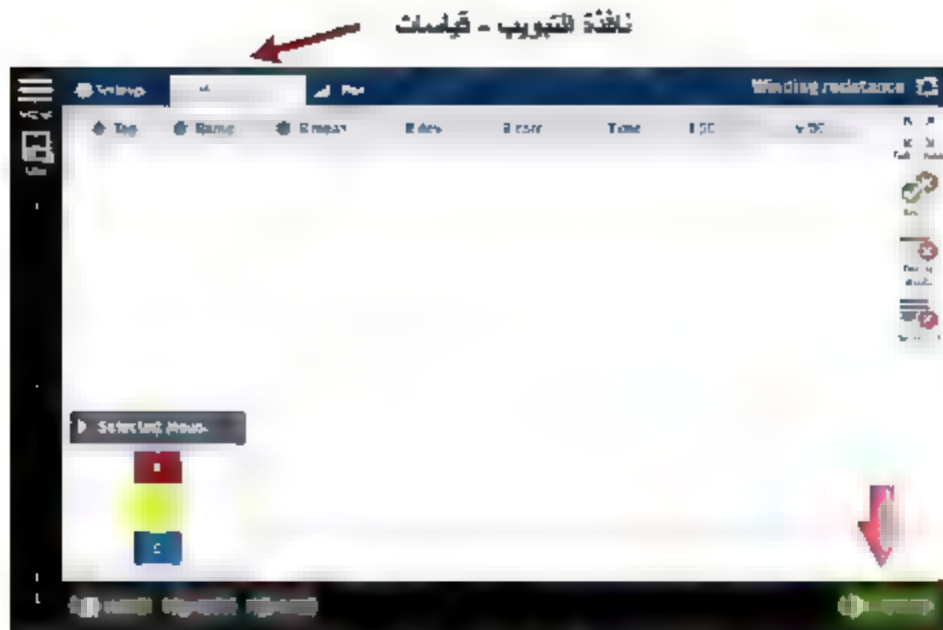
الشكل رقم (3-4-17)

35. كما ويمكن تفعيل خاصية حفظ (تسجيل) قيمة المُقاسمة لنفسه بشكل تلقائي عند الوصول لقيمة تدوير يتم ضبطها مسبقاً و تثبيت عينيها للمرة من الزمن يتم ضبطها أيضاً.



الشكل رقم (3-4-18)

36. دارجوع إلى لوحة التحكم والتمس (Touch Control) و الضغط على علامة استويب قياسات (Measurements) المحددة لمعدة التوبيب إعدادات (Settings) لتظهر شاشة نفسه بالشكل (3-4-19) ثم نقوم بضغط على زر إبدأ (Start) ثم التأكد من زر حقيقة لارتفاع حول زر (Start/Stop) وذلك يكون الجهاز جاهزاً للبدء لإستعداد للحقن



الشكل رقم (3-4-19)

- 37 اضغط على زر يبدأ/توقف (Start/Stop) لبدء الفحص ويتم التحقق من نغمة اسرار وبدأ اجراء لأحمر  ولاحظه الارتفاع حول زر (Start/Stop) دائري يصح بشكل متتابع
- 38 بعد الإنتهاء من الفحص يومض الضوء الأخضر  وبعدها يمكن إيجاد النتائج في علامة التبويب قياسات (Measurements) كما هو مبين بالشكل (3-4-20) و. ان يكون قد إنتهى الفحص



الشكل رقم (3-4-20)

تحليظ: لا تُقم بزيارة "سلا" الفحص إلا بعد التأكد من أن حبة الإشارة التحليلية الحمراء على الواجهة الأمامية (الرئيسية) لجهاز الفحص مُطفئة (OFF) وللمدب الإشر المحذيرة على الواجهة الخلفية لجهاز الفحص مُطفئة (OFF) وكذلك لمبة الإشارة الحمراء على الواجهة الأمامية (الرئيسية) لجهاز الفحص مُضيئة (ON)



الملحق (3-5)

تنويه

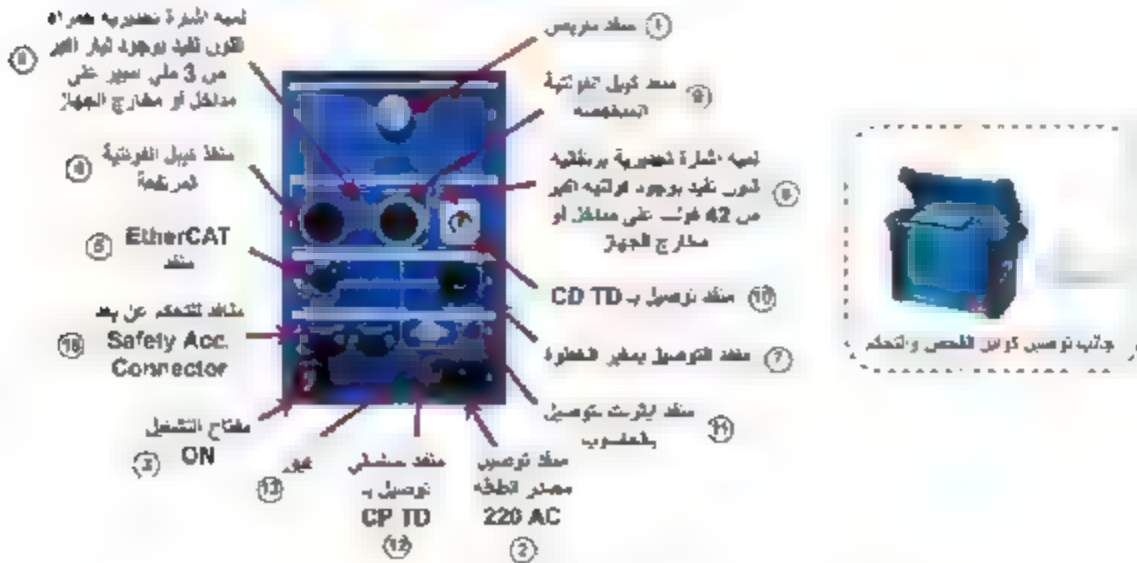
يضم هذا الملحق خطوات الفحص و توصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط (استنداً على الخبرة) بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المُشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز و لمزودة بواسطة الشركة المُصنعة الجهاز جيداً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

إزالة مغناطيسية القلب الحديدي للمحول باستخدام جهاز TESTRANO 600 by OMICRON

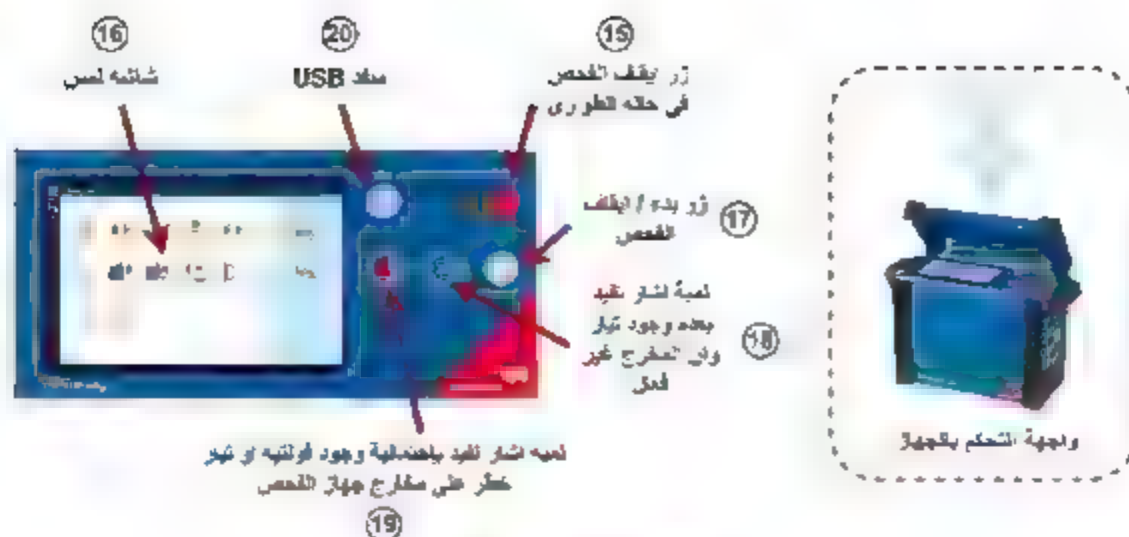


الشكل رقم (3-5-1)

قبل البدء بالخطوات يُفضل التعرف على أجراء جهاز الفحص من شاشة ومافذ وأزرار ومفاتيح تحكم ولعلامات إشارة كما هو مُبين بالشكل (3-5-2&3)

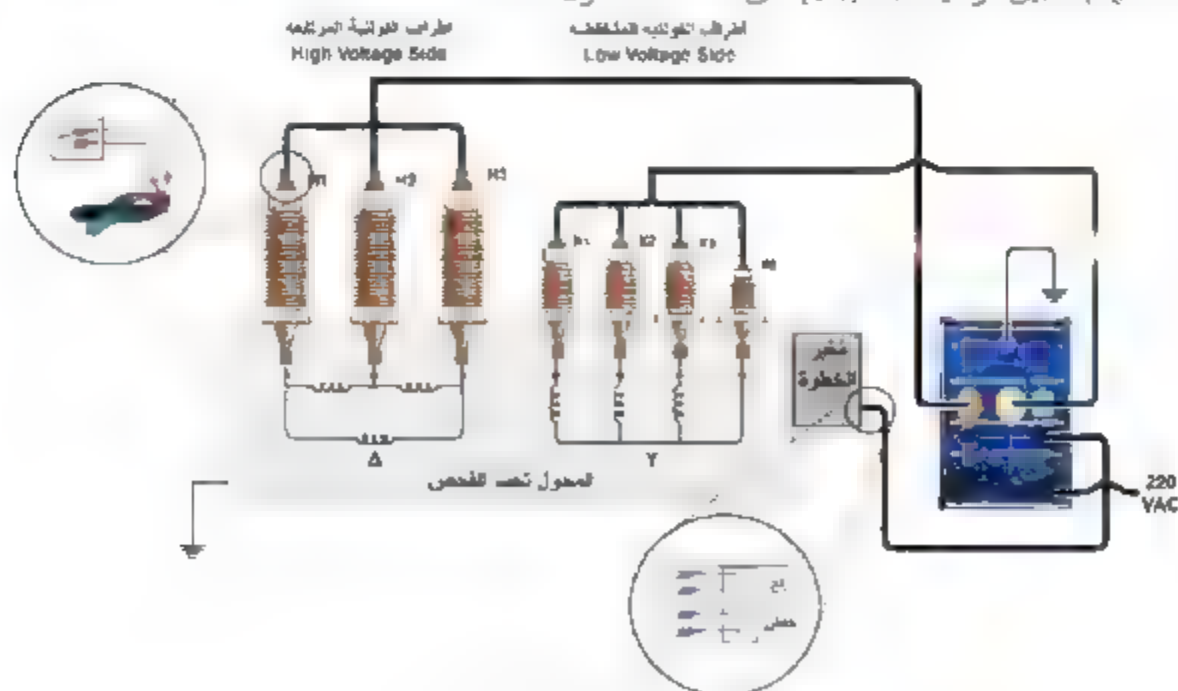


الشكل رقم (3-5-2)



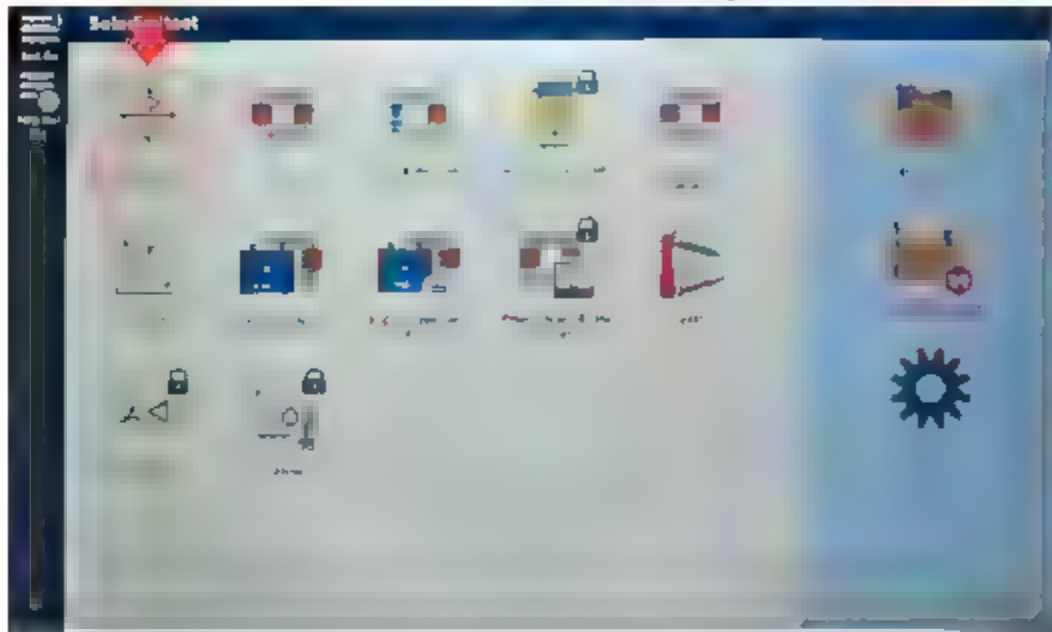
الشكل رقم (3-5-3)

بعد الانتهاء من إجراء فحص مقاومة المعالف (WRM) ونوسطه بنسب التوصية الفنية في الشكل (3-5-4) يمكن إجراء معايرة المعايرة الحثية المتعددة وذلك لتحديد السات الحثية من هذه المعطيات والتي قد تؤدي لظهور تيار بدء كبير (High inrush currents) عند كهره المحول (Transformer energization) بعد الانتهاء من فحص (WRM)، حيث أن هذه التيارات قد تتفوق قيمة الإرساء (Setpoint) الخاصة بحماية ارتفاع التيار المحول (Overcurrent) مما يؤدي لحاوت قصير فوري (Tnp) وجهد المحول غير مرغوب به وس حقه أخرى يجب إزلة معطيات السات الحثية المتعددة حسب تأثيرها على المحولات، اللاحقة خاصة وفحص نسبة عدد الأعطال (TTR) وفحص تيار التهييج (Excitation current) وفحص تحليل لإستجابة لترددية المسحي (SFRA) إذا ما تم إجرائها مباشرة مع فحص مقاومة المعالف (WRM) أو بشكل عاد الفحوصات التي تعتمد في فلسفتها بتطبيق فولتية ثابتة (DC) على ملفات المحول.



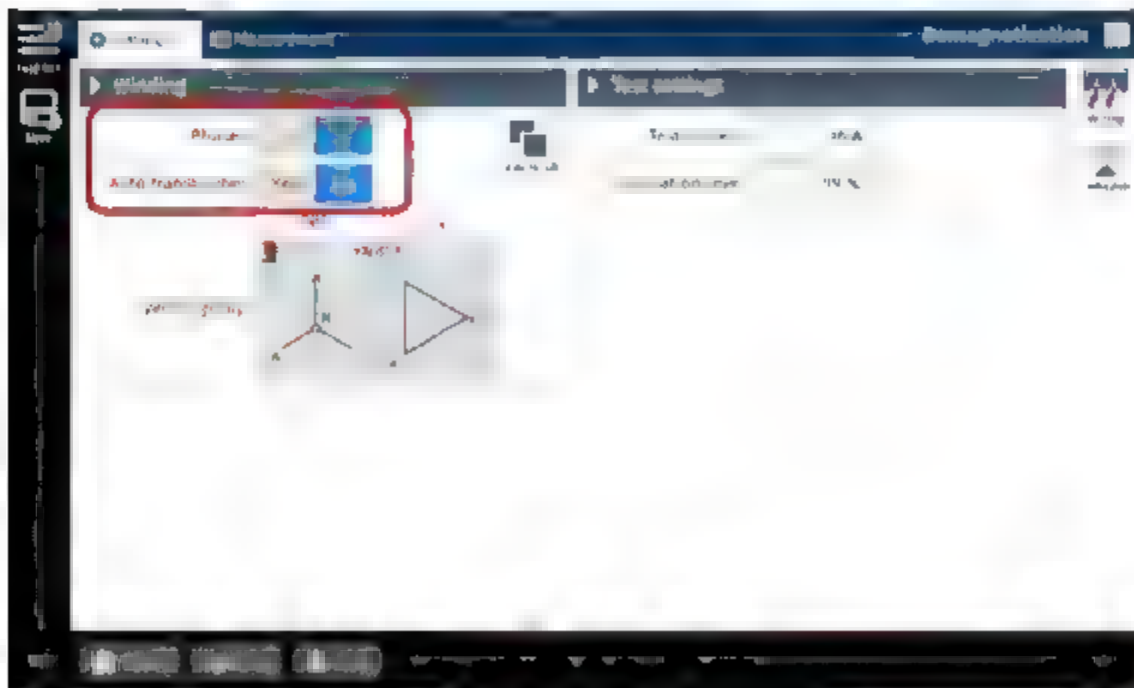
الشكل رقم (3-5-4)

- خطوات إزالة المغناطيسية بواسطة هذا الجهاز:
- 1 اختيار إزالة المغناطيسية (Demagnetization) من القائمة الرئيسية صاهرة على شاشة اللمس (Touch Control) والمُنبَسة في الشكل (3-5-5)



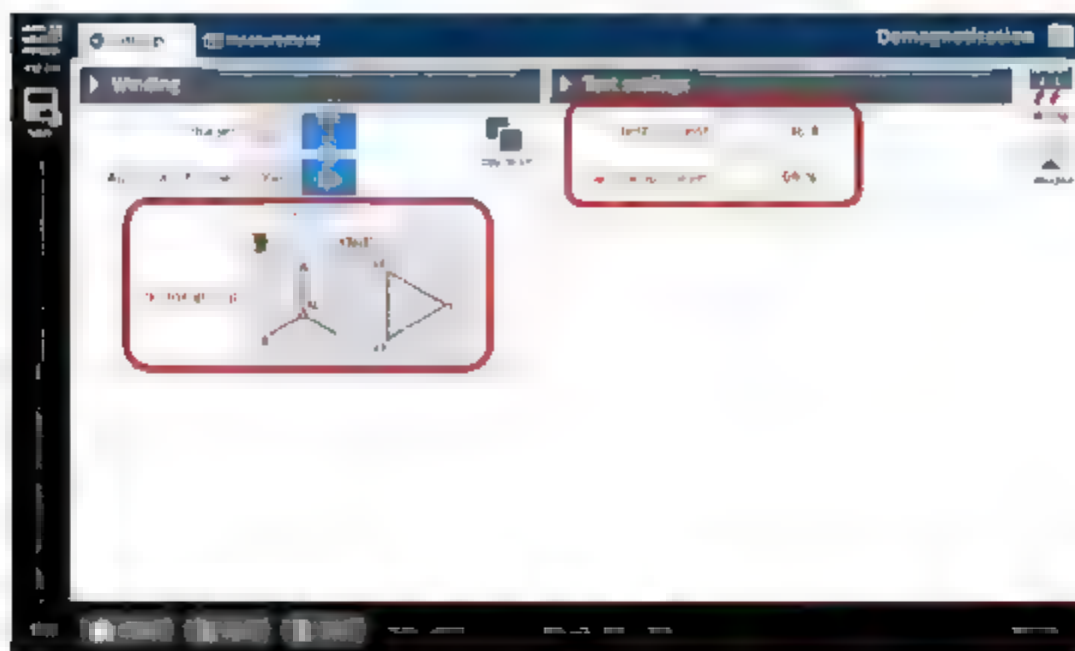
الشكل رقم (3-5-5)

- 2 انظهر لشاشة لمسية في الشكل (3-5-6) والتي تكون باليدية على نافذة التثبيت إعدادات (Settings) يتم تحديد عدد أطوار المحول 'أفراد' و'معدليسيته' المُنتقبة بالضغط على الرقم (3) 'أي أنه ثلاثي الأطوار (3 phase transformer)، ثم يتم الضغط على (No) بجانب المحو، لتلقائي (Auto Transformer)



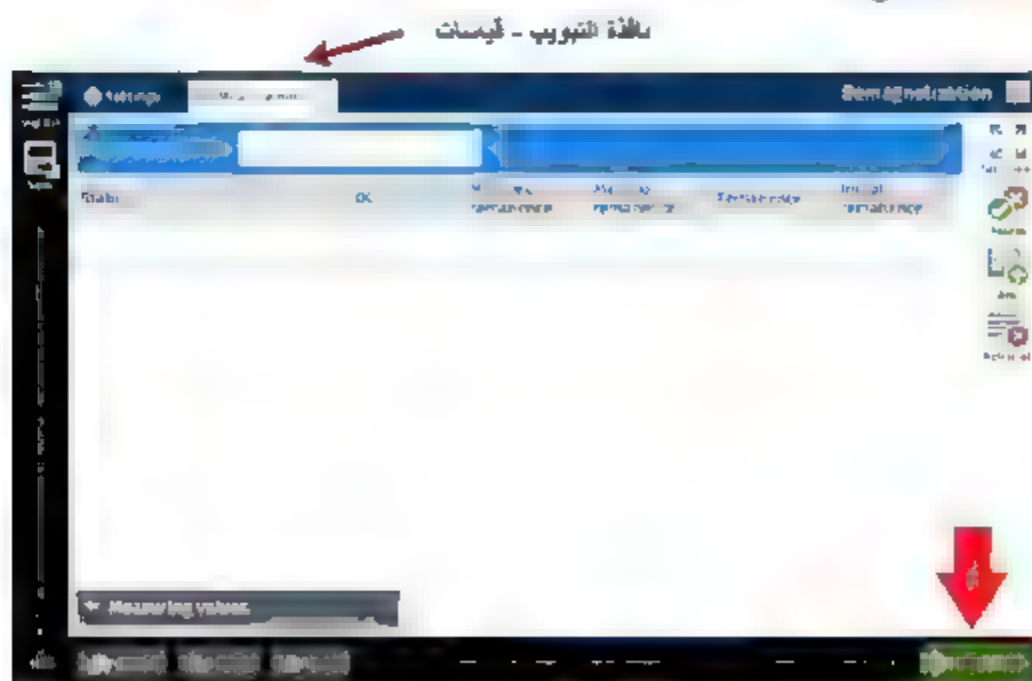
الشكل رقم (3-5-6)

- 3 بحسب مجموعة التوصيل (Vector group) الخاصه بالمحول بالإضافة لتحديد قيمه لتيار كما هو مبين في الشاشة الظاهرة في الشكل (3-5-7)





الشكل رقم (3-5-7)

- 4 الضغط على علامة التوقيف، قياسات (Measurements) المحددة لادارة التوبيج، حددات (Settings) لتظهر الشاشة الرئيسية بالشكل (3-5-8) ثم نقوم بالضغط على زر إبدأ (Start) ثم لتأكد من إبرة الحنفية الزرقاء حول زر (Start/Stop) وبدلاً يكون الحفار بوضعية لإستعداد لتحقق

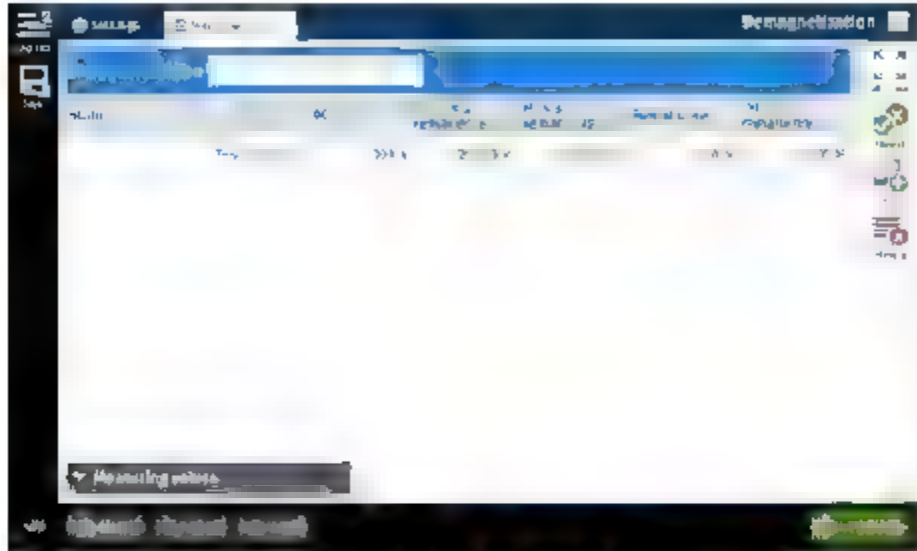


الشكل رقم (3-5-8)

5. لصعظ على زر إبدأ/توقف (Start/Stop) ليبدأ التحص ويتم فحص السعي اسير وبيدأ الصوء لأحمر  واخلقه برفاء حول زر (Start/Stop)  ، لوخص شكل منقصع

6. بعد الإنتهاء يومض الصوء الأخضر  وبعدها يمكن بحد النتائج بي علامة انبويب قياسات (Measurements) كما هو مبين بالشكل (3-5-9) وبذلك تكون قد إنتهت عملية برلة لمعطلة

ينجاح



الشكل رقم (3-5-9)

الفصل الرابع

فحص نسبة عدد لفات المحول

Transformer Turns Ratio Test (TTR)



فحص نسبة عدد لفات المحول

Transformer Turns Ratio Test (TTR)

يُعتبر فحص نسبة عدد لفات المحول من الفحوصات المُهمّة لمعرفة حالة المصدر الداخليّة والمحاكاة لحصينه. تشغيله الأساسيّة للمحول وهي تحويل الطّاقة الكهربائيّة من مستوى فولتية إلى آخر مع ثبات قدره، حيث يُعتبر هذا الفحص عن نسبة عدد لفات ملفّات لفوية المرتفعة (HV windings) إلى عدد لفات سيات لفوية المنخفضة (LV windings) كل طور من أطوار محوّل، كما وتُعتبر هذا الفحص من فحوصات غير التدميريّة (Non-destructive test) أي أنه لا يؤثّر على سلامة العزل وذلك لأنّ مقدار فولتية الفحص أقلّ من مقدار الفولتية الاسميّة الخاصّة بالمحوّل.

وكما ذكر سابقاً فإن سلامة أي محوّل تتخصّص في سلامة ثلاثه تنتمي داخليّة للمحول وهي نظام العزل والصلب الميكانيكي ونظام حراري، حيث أنّ أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدّي إلى فشل للمحول بالكامل، وهذا الفحص يُمكن من الكشف عن سلامة نظام العزل والصلب الميكانيكي للمحول وذلك بالكشف عن وجود وجود بين لفات (فشل نظام العزل)، أو وجود قطع كليّ بالملفات (فشل ميكانيكي) أو وجود مشكلة في القلب الحديدي للمحول.

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفّع لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني لتأكيد من سلامة المحوّل أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحوّل (وهو محلّ بحثنا في هذا الكتاب) أو لأسباب خاصّة أخرى، وتتنحصر هذه الأسباب بالآتي:

1.1 في مصنع ضبط الجودة (Quality Control - QC) وكذلك يُعتبر من فحوصات لتسليم المصنعيّة (Factory Acceptance Test - FAT) لتأكيد من سلامة المحوّل وسطاها للتصميم قبل نقله للموقع.

1.2 في الموقع قبل كهرية المحوّل لمرّة الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات التسليم الموقعيّة (Site Acceptance Test - SAT) للتأكد من سلامة المحوّل بعد نقله وتركيبه في الموقع.

1.3 قبل كهرية المحوّل (Transformer energization) بعد عمليّات الصيانه المُختلفة في الموقع، خدمة عمليّات الصيانة التي يتم خلالها فتح دائرة المفتاح كصيانة مُعزّز لخطوطه (Tap-changer).

1.4 قبل كهرية المحوّل (Transformer energization) بعد تغيير وصغيه مُعزّز لخطوة (Tap-changer) من نوع (De-energized Tap Changer DETC or OCTC)، وذلك لضمان عدم وجود فتح بدائرة الملفات الداخليّة للمحول (Open circuit).

1.5 للتأكد من مجموعة التوصيل للمحول (Vector group).

1.6 بشكل روتيني (Routine test) وذلك للكشف عن وضع المحول لحالي واستخدام نتيجة هذا الفحص كمرجع (Reference value)

1.7 تحديد الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

بم لحوء لعسل هذا الفحص يهدف بشخصي في حال حدوث فصل قسري للمحول (Trip) نتيجة لتفعل مُرحل التوحد (Buchholz Relay)، أو في حال ظهور نتائج غير مُرضية فحص العارات الدائمة في الزيت (Dissolved Gas Analysis - DGA)

كما ويُعد معرض المحول لإجهاد ميكانيكي كالتغيرات أو النقل أو الصدمات، بالإضافة إلى تعرض المحول إلى إجهاد ناتج عن عدال كهربائي مثل الأعطال الأرضية (Earth Faults) وما ينتج عنها من تيارات قصر د ب ييم مرتفعة من الأمور التي تدفعنا لإجراء هذا الفحص بهدف شخصي

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص:

- وجود قطع كلي في ملفات المحول (Open circuit)
- وجود قصر (Short circuit) بين لفاف الملفات المختلفة من المحول أو بين لفافات من نفس الملف.
- وجود نقاط توصيل رديئة (Poor electrical connections) في محو،، مثل وجود إرخاء (Loose) في نقاط توصيل موديلات عورل لإخري أو كما 'سمى جُلف المحول (Bushing leads) بملفات الحو،، أو وجود ارتداء في نقاط توصيل ملفد المحول بمغزٍ اجلوة (Tap changer).
- وجود مشكلة في القلب الحديدي للمحول (Iron Core).

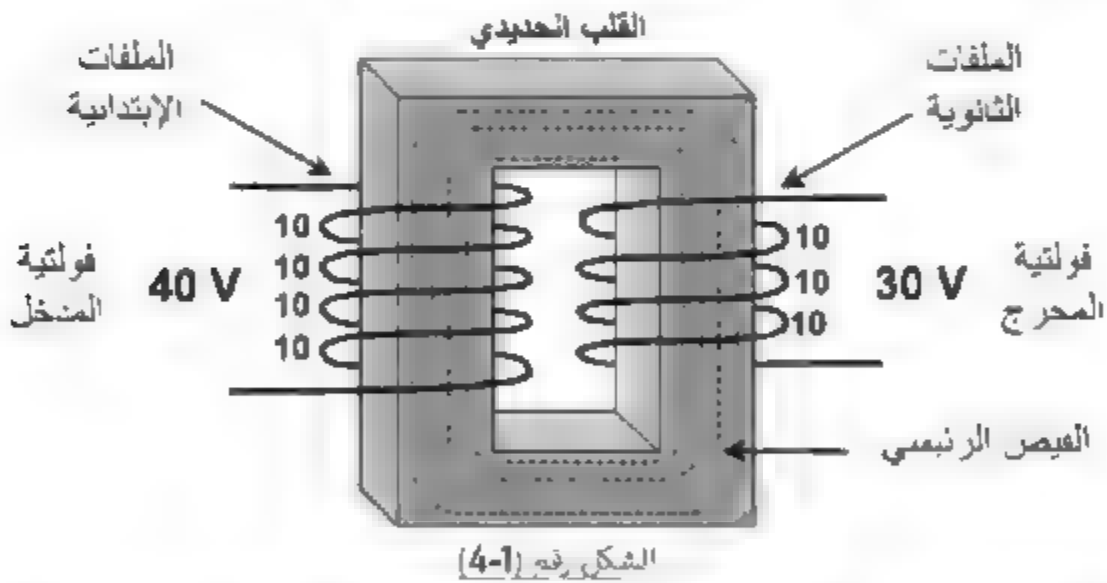
3. فلسفة الفحص

في هذا الفحص يتم قياس نسبة الفولتية للمحول بتطبيق فولتية سرودة (AC Voltage) على ملفات الفولتية مربعة (HV Winding) أو الفولتية المنخفضة (LV Winding) وقياس الفولتية المتولدة على أطراف المحول لأخرى المقبوحة (HV أو LV) ومن ثم يتم حساب النسبة بين الفولتين (RMS values)، وهذا بدوره يُعصِد قيمة تُسمى نسبة الفولتية للمحول (Transformer Voltage Ratio - TVR) ومنها يُمكن معرفة نسبة عدد لفاف المحول (Transformer Turns Ratio - TTR)

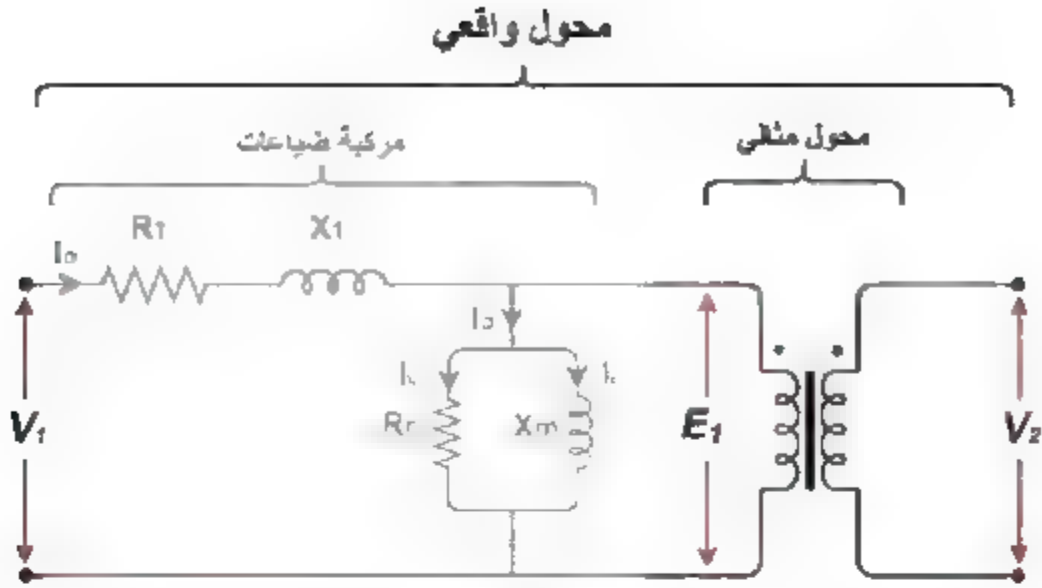
ولكن يبقى السؤال مطروح "ما العلاقة التي تربط نسبة فولتية المحول (Transformer Voltage Ratio - TVR) بنسبة عدد اللفات لهذا المحول (Transformer Turns Ratio - TTR)؟ وهل هما نفس الشيء؟"

كإجابة عن هذا السؤال وكما هو معروف فإن عدد لفات الملفات الابتدائية والثانوية لمحول تُحدد نسبة الفولتية التي سيتم تحويلها باستخدام هذا المحول، أي أنه عند تطبيق فولتية مترددة على الملفات الابتدائية للمحول فإن هذه الفولتية يتم تقاسمها بالتساوي بين لفات الملفات الابتدائية بحيث يصبح لكل لفة قيمة فولتية مُعينة خاصة بها (Voltage per turn) مساوية لفولتية باقي لفات الملفات الابتدائية وكذلك الثانوية كما هو مبين بالشكل (4-1)، ومن خلال ذلك يمكن ملاحظة أن جميع لفات ملفات المحول تحمل نفس المسار من الفولتية مما يؤدي ربطاً قوياً بين عدد لفات ملفات المحول من جهة ونسبة الفولتية المتولدة على أطرافه من جهة أخرى، وأي اختلاف في عدد اللفات سوف يُصاحبه اختلاف في الفولتية المتولدة.

حيث أننا لو قمنا على سبيل المثال بتثبيت فولتية المدخل ونسب عدد لفات الملف الابتدائي للمحول كما هو مبين في الشكل (4-1)، فإن قيمة فولتية المخرج المتوقعة (Voltage per turn) سوف تزداد كلما زادت الابتدائية وابتدائية مما يعني زيادة في قيمة الفولتية الثانوية المتولدة وهذا بدوره يؤدي إلى تغيير الخطوة (Tap-changer) بشكل مُبسط.

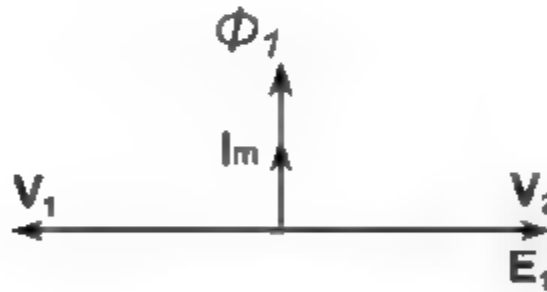


وكتيجةً لهذه الحقائق يمكن القول أن نسبة الفولتية للمحول (TVR) مساوية لنسبة عدد لفات الملفات الابتدائية والثانوية للمحول (TTR) بحيث تطرأ مُعينة، حيث أنه للمحول المثالي (Ideal Transformer) في حالة الإحمال أو الدائرة المفتوحة (Open Circuit أو No-Load) أي أن أطرافه الثانوية مفتوحة وغير متصلة بحمل تكون نسبة الفولتية للمحول (Transformer Voltage Ratio - TVR) مساوية لنسبة عدد لفات المحول (Transformer Turns Ratio - TTR)، ويمكن ملاحظة ذلك من الرسم الموضح في الشكل (4-2) للدائرة المكافئة للمحول.



الشكل رقم (4-2)

حيث أن نسبة توتراته (TVR) على اعتبار أن المحول مثالي (Ideal Transformer) تساوي سطح قسمه (E_1/V_2) الصادرة في الشكل (4-2)، ونظراً لإهمال مدار اللاحم (I_0 - No-Load Current) وف يتبع عنه من هبوط بالفولتية فإن قيمته نسبة لغواتيه (TVR) تكون مساوية لقيمه نسبة عدد لفات المحول (TTR) كما هو مبين في الرسم الفتحلي المودم في الشكل (4-3) والخاص بمحول مثالي (Ideal Transformer) حادي الفولت نسبة تحويله 1:1 في حالة اللاحم و الدائرة المفتوحة (Open Circuit) (or No-Load).

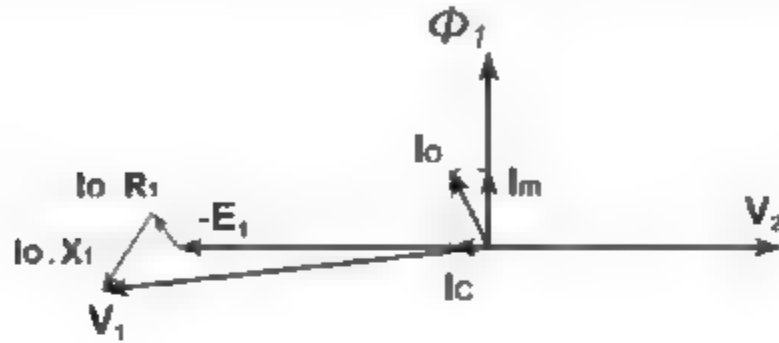


الشكل رقم (4-3)

أما عملياً فيتم يخص المحولات الواقعية (Actual Transformer) في حالة اللاحم (No-load) فإن نسبة اعوانية المحول (TVR) تكون أقل من نسبة عدد لفات المحول (TTR) بعض، ويعود هذا للإختلاف بين القيمتين لصيغتهما المختلفة في العوانية والمناخنة عن

- ✓ قيمته مدونه الصغيات الإنشائية (R_1) والتي تمثل صيغيات أمادية أو الحسية
- ✓ قيمة المتغلة الحثية للمغناط لإمد ثمة (X_1) التي تمثل صيغيات البعض المتسمر
- ✓ قيمة تدر اللاحم (I_0) والذي يعتمد على قيمة المدومة الأمادية (R_c) وقيمة المتغلة الحثية (X_m) بالإضافة لقيمة الفولتية (V_1) المطبقة على الملفات الإنشائية

ومنه فإن نسبة موفقيه لمحول أو قعي (Actual Transformer) تكون ناجح قسمة (V_1/V_2) الظاهرة في البانثرة المكافئة الموضحة بالشكل (4-2) السابق كم ويمكن ملاحظة الاختلاف في قيم القوسيب المصحح عن المصياغات سابقة الذكر من خلال الرسم المفتحي والموضح في الشكل (4-4) والحاص بمحول واقعي (Actual Transformer) أحادي الطور نسبة تحويبه 1:1 في حالة المالحمل (No-load)



الشكل رقم (4-4)

الخلاصة: يمكن إعتبار من قيمة نسبة عند لفات المحول (TTR) تساوي حاصل قسمة (E_1/V_2) الظاهرة في الشكل (4-2) السابقة، واصحوة معروفة قيمة المولاه (E_1) فإن قيمة بقي تم قياسها خلال هذا الفحص هي حاصل قسمة (V_1/V_2) والتي تكون أقل من قيمة نسبة عدد فبات لمحول (E_2/V_2) بسنه قد بين قربه 0.1% والممنه نتيجة المصياغات في المحول الواقعي الناتجة عن قيمة ($R_1, X_1, \text{ and } I_0$)

وهذه المركبات ($R_1, X_1, \text{ and } I_0$) تكون ذات قيمة ثابتة ومعلومة أثناء الظروف التشغيلية الاسمية للمحول، ثم أثناء الفحص والإحصاء قيمة المولتيه المظنية (سما يعني كثافة فيض معدني في القلب الحديدي) فإن قيمة المركبات (R_C و X_m) لا يمكن معرفتها لأنها تعتمد على قيمة كثافة الفيض المعدني في القلب الحديدي، ولسوء الحظ لا يمكن معرفة قيمة سار المالحمل (I_0) نتيجة الاختلاف في قيمة المقاومة (R_C) و امفاعه الحثية (X_m) لأننا نعلم ان على قيمة كثافة الفيض في القلب الحديدي أثناء الفحص.

- لماذا يجب إجراء هذا الفحص أثناء فتح أطراف المحول أو ما يسمى بحالة المالحمل (No-Load أو Open circuit)؟

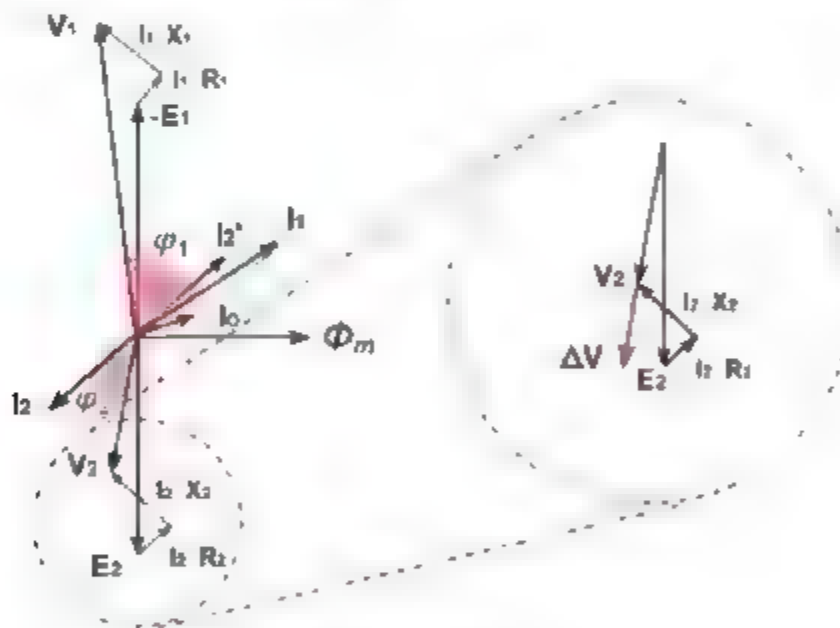
عندما يكون المحول غير متصل بحمل على طرفه الثانوي يكون فولتيه هذه الأطراف تعريباً مساوية لفولتيه الموصلة على المصاات الإنتدائية ونسبة التماس لا تتجاوز 0.5% با حنة على إعتبار أن المحول بسنه تحويبه (1.1)، وذلك نتيجة تأثير قيمه متزامه المصاات الإنتدائية وقيمه فيض الإنتدائي المفسر والذي به شرحه سابقاً، أما في حال كان المحول متصل بحمل فإن الفولتيه المتولدة على الأطراف لثانوية ستكون غير مساوية لفولتيه المظنية على المصاات الإنتدائية ويعود هذا الاختلاف للأسباب التالية:

✓ مقدار زاوية الطور بين الفولتية المتولدة على الأطراف الثانوية و تدر الجهد الثانوي وكذلك طبيعته الحمل قيمه اذا كان حمل حثي (زاوية طور ذات قيمه عاليه) أو حمل سعوي (زاوية طور ذات قيمة موجبة) أي بمعنى آخر أن فواتيه المحول الثانوية يزداد في حال اتصاله بحمل سعوي و ينخفض في حال اتصاله بحمل حثي

✓ مقدار التيار العار في المصعد الثانوي (مقدار تحميل المحول) وما يسحب منه من مركبات للصبغات في معدومه الملفات الثانوية (R_2) و الخسائفة الحثية للملفات الثانوية (X_2) حيث أنه وكما هو معلوم أن مقدار التيار يتناسب طردياً مع مقدار الصبغات، ففي حالة اللاحمل (No-load) تكون قيمه التيار الثانوي (I_2) مساويه للصغير مما يعني صبغات ثانويه ضئيلة عن ($R_2 + X_2$) مساويه للصغير و عكس بالعكس في حال وصل المحول بحمل

✓ معاوقه قصر للمحول (Short-circuit impedance)، حيث أن قيمتها تتناسب عكسياً طردياً مع مقدار الهبوط في الفولتية (Voltage drop)

وهذا الاختلاف في الفواتيه على أطراف الحلف الثانوي للمحول بين حالة عدم التحميل (No-load) أو Open circuit و حالة التحميل (Loaded) يُمكن ملاحظته عبر برسم المفتاحي أدني والموضح في الشكل (4-5) للمحول متغير حمل حثي على اعتبار أن نسبة التحويل (1:1)



الشكل رقم (4-5)

حيث:	
E_2	فولتية الأسراف الثانوية في حالة اللاحمل (No-load أو Open-circuit)
V_2	فولتية الأطراف الثانوية في حالة التحميل (Loaded)
$I_2 \cdot R_2$	فواتيه القصر الفعالة (Active short-circuit voltage).
$I_2 \cdot X_2$	فواتيه القصر غير الفعالة (Reactive short-circuit voltage)
I_2	تيار الملفات الثانوية الفعلي
ΔV	فروق فواتيه بين حالة عدم التحميل و حالة التحميل ملفات المحول الثانوية (متغير الهبوط في لفولتية نتيجة لوصول المحول بحمل حثي).

ولحساب مقدار الهبوط في فولتية (ΔV) نتيجة لوصول المحول بحمل حثي دلياً اعتماد على المعطيات المُتَحَدِثِ السابق يُمكن إيجاد هذه المعادلة

$$\Delta V = \left[n(I_2 \cdot R_2 \cos \Phi 0.016 + I_2 \cdot X_2 \sin \Phi 0.036) + 1 - \sqrt{1 - n^2(I_2 \cdot R_2 \sin \Phi 0.012 - I_2 \cdot X_2 \cos \Phi 0.048)^2} \right] \cdot E_2$$

$$n = \frac{I}{I_2}$$

حيث:

n : التحميل النسبي للمحول

I_2 : التيار العملي للملفات الثانوية.

I : التيار الاسمي للملفات الثانوية

عملاً لو كانت قيمة التحميل النسبي للمحول (n) يسو (1) أي أن المحول يحتمل بحملاً كاملاً وقيمته فولتية اعصر فعالة ($I_2 \cdot R_2$) مساوية لـ (0.02) و قيمة فولتية العجز غير فعالة ($I_2 \cdot X_2$) مساوية لـ (0.06) ومعامل القدرة مساوياً (0.8) وكان الحمل حثي وبعد تطبيق المعادلة السابقة فإن مقدار الهبوط في الفولتية (ΔV) سيساوي قرابة الـ (5%) بأتمة من الفولتية الكاملة للملفات الثانوية في حالة عدم التحميل (E_2)

ملحوظة (4-1): في حال كان الحمل المُتَصَّل بالمحول حمل حثي فإن فولتية التحميل (V_2) ستكون منخفضة مقارنة بفولتية اللاحمل (E_2) بمحور، أما في حالة الحمل السعوي فإن فولتية التحميل (V_2) ستكون مرتفعة مقارنة بفولتية اللاحمل (E_2) للمحول



لذلك وتجنب تأثير فرق الفولتية المانع عن تحميل أو قصر الأطراف ثانوية للمحول (Short circuit or Loading)، يُصبح بإجراء هذا الفحص أثناء فتح ترميز (Open Circuit) محوّل ثانوية أو ما يُسمى بحالة اللاحمل (No-load)

- كيف يُدل هذا الفحص على وجود قصر (Short circuit) أو قطع كلي (Open circuit) في ملفات المحوّل أو وجود عطل في القلب الحديدي:

في حال حدوث قصر بين ملفات المحوّل (Short circuit or interturn) فإن هذا القصر يُنتج عنه يارت دوّره (Circulating currents) محدثة زيادة في العيصر المُتَسَرِّب، والذي من شأنه ضمن اختلاف بين موجية المُطَوَّبَّة على الصفات لإندثية والموازنة المُتَوَلَّدة على أطراف المصنّف الثانوية مما يعني اختلاف في قيمه فحص نسبة لفات المحوّل (TTR) لِمُسْتَقْبَلِهِ من قيمه نسبة فولتية للمحوّل (TVR) ومنه يُمكن كشف هذا النوع من الأعطال

أما فيما يخص حدوث قطع كلي في الصفات (Open Circuit) فيه يُمكن تحييص هذه الحالة بإحصائيات لثانية (في حال فحص كل طور على حدة أي باستخدام مصدر فولتية أحادي الطور)

✓ وجود قطع كلي في الملفات الابتدائية الموصولة على شكل نجمة (Y - Star)

في هذه الحالة عند تطبيق فولتية على ملف الطور المعصوب (مكان وجود القطع) فإن الفيض بالمغناطيس لن يتكون بالمغناطيس المحددتي ولن يتم الحصول على قراءات فولتية على أطراف الملف الثانوي.

✓ وجود قطع كلي في الملفات الابتدائية الموصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)

في هذه الحالة عند تطبيق فولتية على الملف المعطوب (مكان وجود القطع) فإن الفيض المتكون في الملف الحديدي هو بسبب شحن الملفين الآخرين (السليمين)، مما يعني تكون فولتيته على أطراف الملف الثانوي بمستوى أقل من المستويات الطبيعية مما يؤثر على سيطرة الفحص ويؤثر على وجود هذا النوع من الأعطال.

✓ وجود قطع كلي في الملفات الثانوية.

في هذه الحالة لن يمر تيار في الملفات الثانوية وسوف يتم قراءة صفر فولتية بواسطة جهاز قياس الفولتية مما يعني قيمة نسبة فولتية لا نهائية (باتج قيمة قيمة فولتية الملفات الابتدائية على صفر).

ملحوظة (2-4): هذا الفحص يُساعد على كشف الأخطاء التي تتعلق بالقطع الكلي (Open circuit) للملفات بكفاءة عالية، أم فيما يخص بقطع الجزئي (Crack) للملفات، فإن هذا الفحص غير فعال كمنهج ويجب الاستعانة بتقنيات أخرى أكثر كفاءة وحساسية حيال هذا النوع من الأخطاء مثل فحص مقاومة ملفات (Winding resistance - WRM).



وقد يُعزى أخطاء مغناطيس حديدي (Iron Core) للمحول فيه عند تطبيق فولتية سرعده على ملفات الفوائدة المرفعة (HV windings) مستويات فيض في الملف الحديدي بشكل يتناسب طردياً مع قيمة الفوائدة لكل لفه (Voltage per turn)، ولكن عملياً هذا الفحص الشبكي نتيجة مرور تيار في الملف الابتدائي لا يتغل (Coupled) عبر الملف الحديدي إلى الملف الثانوي بسببه نسبة المنة على شكل فيض مشترك (Mutual flux)، وربما هناك جزء يكون على شكل فيض متسرب (Leakage flux) وذلك يعتمد على:

- ✓ قيمة محثّة ملفات المحول (Winding Inductance)
- ✓ تصميم القلب الحديدي (Core Design).
- ✓ تركيب القلب الحديدي (Core Construction)
- ✓ نفاذية القلب الحديدي (Core Permeability).

نذلك يُمكن بهذا الفحص الكشف عن وجود مشاكل في القلب الحديدي كوجود مشكله في تركيب القلب أو وجود فشل في العزل بين الرقائق المعدنية المُكوّنه للقلب والتي بدورها تؤثر على قيمه الفحص المُستقى من انحصار الاندانة الملعاب ثاقوبية (M_{12} - Mutual Flux) مما يؤدي لإختلاف قيمة السوتية المُؤداه ومنه إختلاف قيمه نسبة الفولتية للمحول (TVR) وقيمته فحص نسبة هات المحول (TTR) المُشتقة منها

كما ويُمكن الكشف عن أعطال القلب الحديدي كوجود قصر بين الرقائق المُكوّنه للقلب الحديدي عن طريق قياس إزجراف اطور (Phase Deviation) والتي يردد بإزجراف قيمة السراب لدوسه في القلب والمانحه عن قصر بين الرقائق سافه اليكر، وتعدر الإشارة إلى بعض أجهزة فحص نسبة عدد الفات لحدية يقوم بإظهار معا ز إزجراف اطور (Phase Deviation) لإضافه إلا قيمه نسبة عدد الفات (TTR) وفي بعض الأنسا، تُعطي هذه الأجهزة قيمة تيار السج ($Excitation Current$) والذي من شأنه أيضاً الكشف عن أعطال القلب الحديدي والتي سيأتي ذكره في الفصل الخامس بشكل مفصل كفحص مُستقى.

4. طرق الفحص

يُمكن إجراء هذا الفحص بطريقة التقليدية أو كما تُسمى بطريقة جهاز قياس الفولتية (Voltmeter method)، أو بواسطة أجهزة لفحص الإلكترونية الحديثة وذلك وفقاً للتجهيزات المتوفرة في موقع الفحص كالأتي

4.1 طريقة جهاز قياس الفولتية - Voltmeter Method

كما ذكرنا في هذا الفصل يتم تطبيق فولتية مترده ($AC Voltage$) على حثت لإسالة وفاس لفولتية المُؤداه على أطراف الملعاب الثاقوبية المُصوّه للمحو، ومن ثم يتم إحتساب النسبة بين الفولتيتين (RMS values)، ويتم ذلك باستخدام مصدر فولتية مترده ($AC voltage$) أحادي لطور (Single phase) أو ثلاثي لطور (Three phase) حيث يفضل استخدام مصدر حادي لطور ليكشف عن حالات القطع الكلي للملعاب (Open circuit) بكفاءة أكبر.

ويتم إجراء هذا الفحص بهذه الطريقة بأسلوبين رئيسيين

✓ **الأسلوب التنازلي - Step-Down method:** وذلك بتطبيق الفولتية المترده ($AC voltage$) على ملعاب الفولتية المرتفعة ($HV windings$) و قياس الفولتية المُؤداه على أطراف ملعاب الفولتية منخفضه ($LV winding$)، وهذه الطريقة أكثر أماناً حيث أنه لا خوف من ظهور فولتيات مرتفعة على أطراف قياس الفولتية

✓ **الأسلوب التصاعدي - Step-Up method:** وذلك بتطبيق الفولتية المترده ($AC voltage$) على ملعاب الفولتية المنخفضه ($LV winding$) و قياس الفولتية المُؤداه على أطراف ملعاب المرتفعة ($HV winding$)، وعادة ما يتم استخدام هذه الأسلوب عند فحص المحولات ذات الملعاب الثاقوبية الموصولة على شكل مثلث (Δ - Delta) أو المحولات ثلاثية لطور ثلاثية الملعاب (Tertiary Windings Transformers) ولكن يمكن إعتد هذه الطريقة أقل

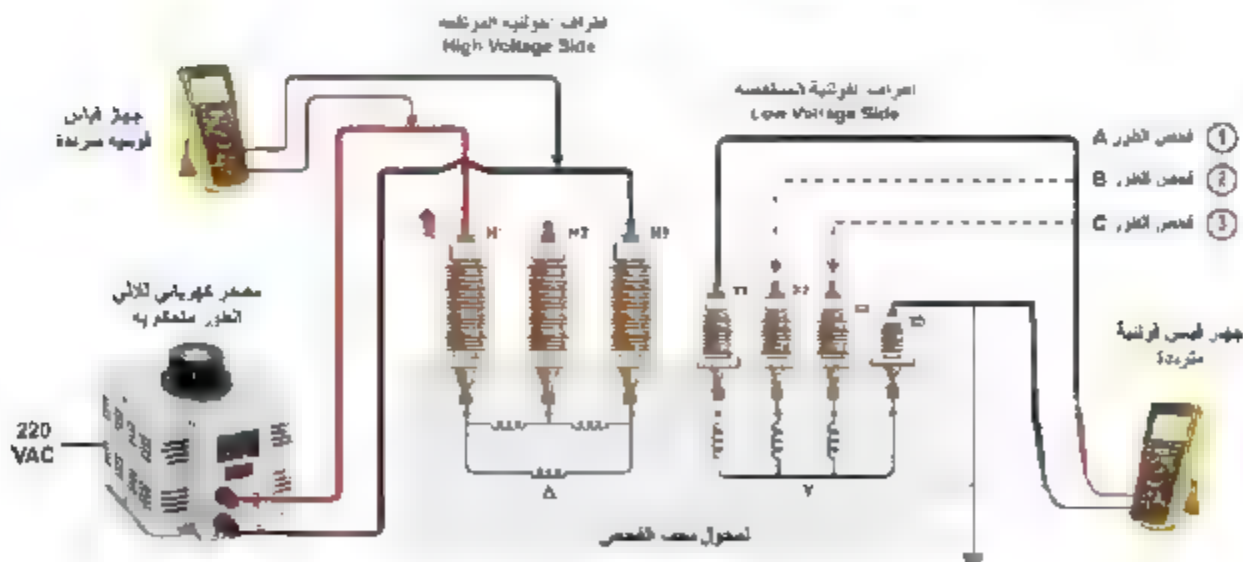
تماً سيجبه لإمكانية ظهور فولتيات مرتفعة عن أطرف القياس انحصار ملفات المحوليه المرتفعة (HV winding)

■ المعدات المستخدمة بالمحصر

- مصدر كهربائي (Power Supply): مصدر فولتية متردد مُتحكم به (Regulated AC Power Supply) أو كما يُسمى (Variable AC Power Supply - Variac) أحادي لطور أو ثلاثي الطور ذو مستوي فولتية مناسب (150 300) فولت، كما يجب التأكد من أن هذا المصدر المُتحكم به مُعاير (Calibrated)
- جهاز قياس فولتية مترددة (AC) رقمي (Digital Voltmeter): ذو دقة عاليه (high Accuracy) وكثلك ذو تدرج (Scale) مناسب لقيَم المحصر، كما يجب التأكد من أنه مُعاير (Calibrated).
- أسلاك توصيل (Test Wires) ومرباط (Clamps)

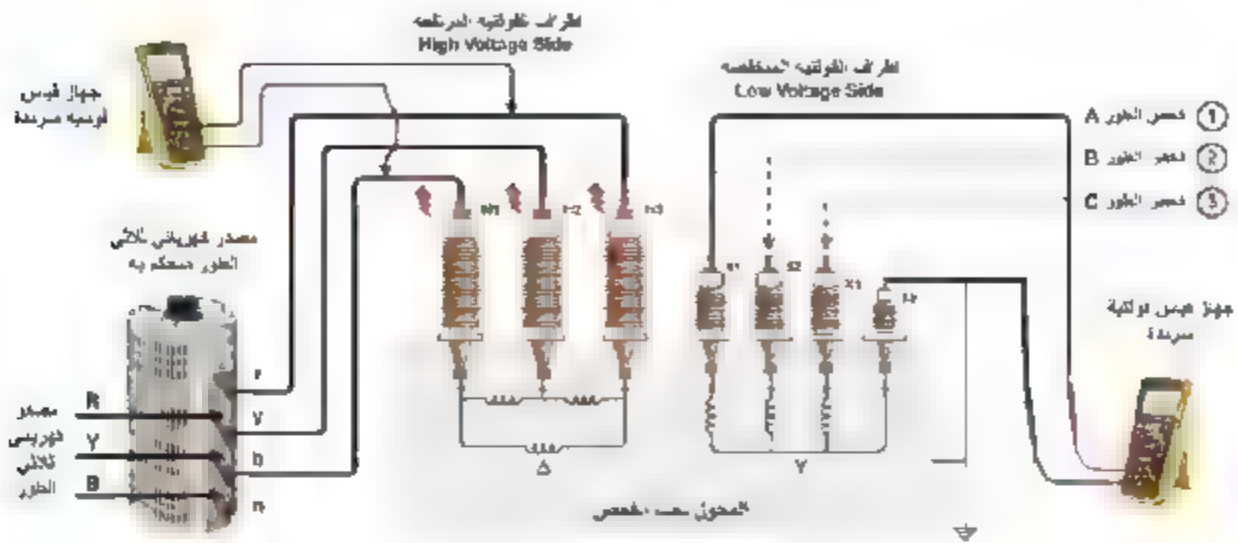
■ توصيلة المحصر

- في حال كان المحول المُراد فحصه ثلاثي الأطوار (Three Phase) ذو ملفات ذات نقطة تعادل (Neutral point) يُمكن الوصول إليها (أي أنه موصول بطريقة النجمة خارجياً)؛ في هذه الحالة يُصبح باستخدام مصدر فولتية أحادي الطور (single phase) للمحصر كما ويُمكن استخدام مصدر ثلاثي الطور حسب [IEEE, C57.12.90-2015]
- الشكل (4-8) يُبين توصيلة المحصر باستخدام مصدر فولتية أحادي الطور لمحول ذو مجموعة توصيل (Dyn1) كمثال.



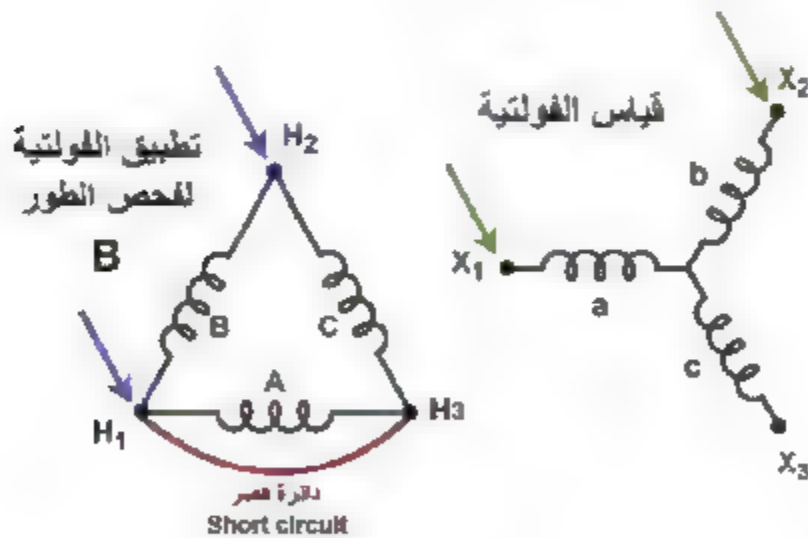
الشكل رقم (4-8)

الشكل (4-9) يُبين توصية الفحص باستخدام مصدر فوميه ثلاثي طور محوّل ذو مجموعة توصيل (Dyn1) كمثال



الشكل رقم (4-9)

في حال كان المحوّل الفراد فحصة ثلاثي الأطوار (Three Phase) ذو ملفات ذات نقطة تعادل (Neutral point) لا يُمكن الوصول إليها (أي أنه موصول بطريقة النجمة داخليا)؛ في هذه الحالة يُمكن إجراء الفحص باستخدام مصدر فولتية أحادي الطور (single phase) مع ضرورة عدم الإجراء كوضع وصله يُضرب لتكوين نقطة تعادل فإنّ عليه كما هو مبين في الشكل (4-10)



الشكل رقم (4-10)

الشكل السابق يُبين توصيله فحص الصور (B) المحوّل ذو توصيله ملفات (Dyn)، وفحص باقي لأطوار يُمكن الرجوع للجدول (4-1)، والذي يوضح الأطراف الواجب فحصها ولأحرف التي

يجب حقن العولتية عليه وكذلك أطراف قياس العولتية لهذا النوع من توصيلات المحولات،
ولباقي مجموعات التوصيل يُمكن إيجاد الملحق (4-3) في نهاية الفصل.

الجدول رقم (4-1)

الصور المُراد فحصه	الأطراف الواجب قصها	أطراف حقن العولتية	أطراف قياس العولتية
A	H1 - H2	H3 - H1	X2 - X1
B	H1 - H3	H1 - H2	X1 - X2
C	H1 - H3	H2 - H3	X1 - X3

ملحوظة (4-3): في حال كانت دوائر العولتية المربعة موصولة على شكل نجمة
(Star - Y) يجب بقا نقطة التعادل متفوحة. أي الحقن يكون ثلاثي الأطوار بثلاثة
أسلاك فقط (Three Phase Three Wires)



4.2 باستخدام أجهزة الفحص الحديثة مثل جهاز (TESTRANO 600 by OMICRON) كما
سيتم شرحه بالملحق رقم (4-1)، وجهاز (TTRU3 by MEGGER) كما سيتم شرحه في الملحق (4-2)

5. خطوات الفحص

بعد التأكد من أعلى فسيمة فحص وطرق إحرازه والتوصيلات اللازمة لذلك، يُمكن البدء بخطوات
الفحص كالآتي

5.1 عرب المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع مراعاة تطبيق نظام (إقفال
مصدر الطاقة ووضع لافتات عليه) أو ما يُسمى بنظام القفاس (Lock-out Tag-out LOTO)

5.2 عرب نظام مكافحة لحريق بالهواء (أو كما يُسمى نظام تبريد حرار المحول وسع إنذار الحريق)
الخاص بالمحول المراد فحصه حسبية عمل النظام بشكل خاطئ أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي
لمخاطر لموس كهربائي وما ينطوي عليه من مخاطر على الأشخاص أو المحول خاصة أثناء
تنسيق العولتية على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز الفحص نفسه.

5.3 تطبيق كافة إجراءات السلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية المُصنَّعة في معيار معهد
مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Recommended Practices for Safety in High-
Voltage and High-Power Testing) والمعهد الوطني الأمريكي للمعايير (ANSI National
Electrical Safety Code) ومُصنَّعة بإدارة السلامة وصحة المهنة (OSHA Specifications
for Accident Prevention Signs and Tags)

5.4 فتح طرف الفولتية المنخفضة (LV side terminals) والفولتية المرتفعة (HV side terminals) وذلك بإزالة الموصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذلك إحاطة نقطة التعادل (Neutral point) للمحول إن وجدت

تحذير: يجب تأريض كوابل الفولتية المرتفعة إما عبر مسبجلات أسايريس اشنه (Earthing Dis-connector) أو المتفعله (Portable) قبل السأ بك هذه الكوابل عن عورل إحتراز المحولات (Bushings)، وذلك لح قد تحوّه من قوسية حثية (Induction voltage) ناتجة عن المقعدت أو الحظوظ اليوئيه (Overhead Lines - OHL) المجاورة للمحول الفراد فحوصه والمشحونة بفولتيات مرتفعة



5.5 تفريغ شحنات المخزنة بملفات المحول (Trapped Charges) قبل توصيل كوابل الفحص وذلك بعمل دائرة قصر بملفات (Short circuit) وتربطها لمدة من الزمن وكذلك الحال بعد الانتهاء من الفحص وقس زيادة كوابل الفحص بالإضافة إلى تأريض خزان المحول أثناء إجراء الفحص

5.6 في حال سبب إجراء هذا الفحص إجراء أي من الفحوصات التي تعتمد على الفولتية الثابتة (DC) مثل فحص مقاومة أعزل (Insulation resistance) أو فحص معاومة الحملات (Winding Resistance) يجب إزالة المغناطيسية المتبقية (De-magnetization) بالطرق الواردة في نهاية الفحصين السابقين (الفصل الثاني و الثالث)، وذلك لأن نتيجة هذا الفحص تمتاز بقيمة المعاد طيسية المتبقية وتشعّع القلب الحديدية للمحول.

5.7 ملاحظة أن يكون باقي ملفات الحزمة بالمحول مفتوحة (Open circuit) أثناء فحص

5.8 عمل التوصية الخاصة بها الفحص كما هو مبين في فقره توصية الفحص ولأشكال (4-8&9&10) السابقة والتي تبين طريقة الفحص بالأسلوب المتنازلي (Step-down) بعد التأكد من تطييف أطراف محول التي سيتم التوصيل عليها حتى لا يؤثر على قيمة الفحص

5.9 تطبيق قواسم مترادة (AC voltage) على طرف سعاب الفولتية المرتفعة (HV windings)

5.10 قياس الفولتية المتبقية على أطراف ملفات الفولتية المنخفضة (LV windings) وذلك بعداً لمجموعة التوصيل الخاصة بالمحول، الجدول (2-4) تبين مجموعة التوصيل للمحول الفراد فحوصه ولأطراف التي يجب تطبيق الفولتية المترادة عليها ولأطراف التي يجب قس فولتية عليها عن إعتبار أن أسلوب الفحص المتبع هو أسلوب المتنازلي (Step-down)

كما وتحدّر لإشار إلى أن الجدول السابق يضم مجموعتي التوصيل (Dyn1 و YNd11) وهي الأكثر شيوعاً كمحولات قدرة وبوريج في الأردن بالإضافة إلى محولات ذات مجموعته توصيل (Dd0-d0 و Dd0) سبق وأن تعاملت معها

الجدول رقم (2-4)

مجموعة التوصيل	ملفات الفحص	أطراف حمن الفولتية	أطراف قياس الفولتية
YNd11	HV-LV Ynd11	U-N	u-w
		V-N	v-u
		W-N	w-v
Dyn1	HV-LV Dyn1	U-W	u-n
		V-U	v-n
		W-V	w-n
Dd0	HV-LV Dd0	U-V	u-v
		V-W	v-w
		W-U	w-u
Dd0-d0	HV-LV1 Dd0	U-V	u1-v1
		V-W	v1-w1
		W-U	w1-u1
	HV-LV2 Dd0	U-V	u2-v2
		V-W	v2-w2
		W-U	w2-u2
	LV1-LV2 dd0	u1-v1	u2-v2
		v1-w1	v2-w2
		w1-u1	w2-u2

* لدى مجموعات التوزيع يرحى يحدّد الجدول بالمحقق رقم (3-4)

5.11 قسمة إسمية ، مُطابقة على ملفات الفولتية المربعة (HV) على الفولتية المُقاسة على ملفات إسموية المنخفضة (LV) ومن ثم تصحيح النتيجة وفقاً للطريقة الواردة في فقرة تصحيح القيمة المُقاسة التي سيتم شرحها

5.12 في حال كانت المقابس المخصصة تكون من عدة مقابس فرعية ، في حالة وجود مُعتر خطوة (Tap-changer) فإنه يتم تطبيق هذا المحص على جميع الخطوات (Taps).

فائدة عملية: في حال كان مُعتر الخطوة من نوع (De-energized Tap Changer - DETC)، وبعد الإنتهاء من الفحص على جميع الخطوات (Taps) يجب إعادة المحول على الخطوة المرجعية (Reference Tap) في أي حال عنها مُعتر خطوة (Tap-changer) قبل فحص أي شيء لتسهيل التصحيح للمحول ومن ثم فحص المحول مرة أخرى وذلك للتأكد من عدم وجود فتح في أي ثغرة (Open Circuit) قبل كهربة المحول (Transformer energization)





فائدة عملية: يجب عمل تمرين لمُعَيِّر الخطوة من النوع (De-energized Tap Changer - DETC) على الأقل مرة واحدة سنوياً، وفي حين تعدل عمل هذا التمرين لطروف تشعبية أو غيرها من الظروف فإنه لا يُصبح سعر وصعيه مُعَيِّر الخطوة و هذا يجب تطبيق هذا الفحص على الخطوة المرجعية (Reference Tap) أي التي كان عليها مُعَيِّر الخطوة أثناء التشغيل الطبيعي فقط خوفاً من إحداث عطل في مُعَيِّر الخطوة نحن في غنى عنه.

6. تصحيح القيمة المُقاسة

غير الخوص في تفاصيل تصحيح القيمة المُقاسة يجب التوجه إلى بعض المصطلحات الخاصة بهذا الفحص.

- ✓ نسبة القوسية المُقاسة للمحول (Measured Transformer Voltage Ratio - TVR)، وهي النسبة التي يتم قياسها بواسطة هذا الفحص
- ✓ نسبة اعولته الموجودة على لوحة الاسم للمحول (Transformer Nameplate Voltage Ratio - TNR)، وهي النسبة الفصية في لوحة التيارات للمحول (Nameplate)
- ✓ نسبة المتوقعة المصنوعة من النسبة الموجودة على لوحة الاسم (Expected Measured Transformer Voltage Ratio - ETVR)، وهي النسبة التي يتم احتسابها بالاعتماد على قيمة (TNR) الموجودة على لوحة التيارات للمحول (Nameplate) وذلك لأغراض المقارنة، نسبة المُقاسة (TVR)
- ✓ نسبة عدد مرات المحول (Transformer Turns Ratio - TTR)، وهي النسبة المُستخرجة من الفحوصات الساتية بمحول مثل فحوصات القبول المسبقة (FAT) والموقعية (SAT) أو الفحوصات الروتينية السابقة

• مقارنة القيمة المُقاسة (TVR) بالقيمة المثبتة على لوحة البيانات للمحول (TNR)

في هذا الفحص يتم قياس نسبة 'متوقعة' المحول (TVR) ويكون هذا نسبة مسدوية لنسبة اموجودة على لوحة التيارات (TNR) للمحولات ذات مجموعات 'توصيل' (Dd أو Yy) بحيث يُمكن مقارنته القيمة المُقاسة بالقيمة المثبتة على لوحة التيارات للمحول (Nameplate) مباشرة، أما باقي مجموعات التوصيل للمحولات مثل (Dy أو Yd أو Zig-zag) فإن قيمه نسبة التوافقية المقاسة (TVR) يتم مقارنتها بالنسبة المُتوقعة لنسبة المتوقعة (ETVR) والتي يتم احتسابها بواسطة المعادلة التالية والاعتماد على نسبة القوسية الموجودة على لوحة الاسم (TNR).

$$ETVR = k * TNR \quad (4.3)$$

حيث:

ETVR : قيمة نسبة الفولتية المرفوعة للمحول.

TNR : قيمة نسبة الفولتية الموجوده على لوحة الاسم للمحول.

k معامل يعتمد على توصيلة ملفات المحول ويمكن معرفة قيمته بالاعتماد على الجدول (4-3)
(3)

الجدول رقم (4-3)

مجموعة التوصيل	قيمة المعامل K	مجموعة التوصيل	قيمة المعامل K
Dd	1	Yz	$\sqrt{3}/2$
Dy	$\sqrt{3}$	YNz	$\sqrt{3}/2$
Dyn	$\sqrt{3}$	Yzn	$\sqrt{3}$
Dz	1.5	YNzn	$\sqrt{3}$
Dzn	1.5	Zd	1
Yd	$\sqrt{3}/2$	ZNd	$2/3$
YNd	$1/\sqrt{3}$	Zy	$\sqrt{3}/2$
Yy	1	ZNy	$1/\sqrt{3}$
YNy	1	Zyn	1
Yyn	1	ZNyn	1
YNyn	1		

مثال: لو أردنا جزء هذا المحص على محول ذو مجموعة توصيل (Dyn1) وكانت قيمة نسبة الفولتية المُثبَتة على لوحة اسميات المحول (TNR) مساوية ' (2.1739) أي عن إعتبار أن المحول يقوم بتحويل (15kv) إلى (6.9kv)، فإن القيمة الموقعة الحصول عليها بإجراء هذا المحص (ETVR) وفقاً للمعادلة (واحد)، استنتاجاً تكون مساوية ' (3.765) بعد ذلك يتم إجراء هذا المحص ومقارنة نسبة الفولتية المُقاسه من خلال المحص (TVR) ونسبة الفولتية المرفوعة لمحتسبه (ETVR)

• مقارنة القيمة المُقاسه (TVR) بقيمة (TTR) من الفحوصات السابقة

عند قياس قيمة نسبة الفولتية (TVR) لأغلب المحولات فإنها تكون قريباً مساوية لقيمة نسبة تيارات المحول (TTR)، ولكن بعض المحولات تحت حساب قيمة نسبة عدد ثبات المحول (TTR_{cal}) بالاعتماد على قيمة نسبة الفولتية المُقاسه (TVR) وذلك ليتسنى لنا مقارنتها بقيمة نسبة عدد الثبات (TTR) الموجوده بالفحوصات السابقة مثل فحوصات القبول المصنعيه (FAT) والموقعية (SAT) أو لفحوصات الروتينية وذلك بواسطة المعادلة التالية:

$$TTR_{cal} = k * TVR \quad (4.4)$$

حيث:

: قيمة نسبة العولنية للمحول (القيمة المقاسة)

TVR

. قيمة نسبة عدد لقات المحول.

TTR_{Cat}

. معامل يعتمد على توصيله ملغاب 'المحول' ويمكن معرفه قيمه بالاعتماد على

k

الجدول (4-4)

الجدول رقم (4-4)

مجموعة التوصيل	قيمة المعامل K
Dz	3/2
Yzn	1/2
Yd	2/3
YNzn	1/2
Zd	2/3
ZNy	2
Zy	4/3
ZNy	2

مثال: او تردد إجراء هذا الفحص على محول ذو مجموعة توصيل (Ydl) وكانت قيمة نسبة العولنية المقاسة من خلال هذا الفحص (TVR) مساوية لـ (2.5)، وأعطت مسربة هذه القيمة بقيمة نسبة عدد لقات 'المحول' (TTR) من الفحوصات السابقة لا تُد من احتساب قيمة نسبة عدد اللمات (TTR_{Cat}) بالاعتماد على قيمة نسبة العولنية المقاسة من خلال هذا الفحص (TVR) وذلك بتطبيق معادله (4.4) والرجوع لجدول (4-4) حيث أن قيمة نسبة عدد اللمات (TTR_{Cat}) تساوي (1.67) لهذا المحول ذو مجموعة التوصيل (Ydl) بعد ذلك يتم مقارنة قيمة نسبة عدد لقات المحسنة (TTR_{Cat}) بقيمة نسبة عدد اللقات من الفحوصات السابقة (TTR).

7. تحليل نتائج الفحص

بعد تصحيح القيم المقاسة وفقاً لما تم شرحه سابقاً، يتم تحليل نتائج الفحص بعدد طرق كالآتي

7.1 الطريقة الأولى: مقارنة نتائج لفحص (TVR) بالقيمة الموحدة على لوحة بيانات (TVR) لفئة

على المحول مباشرة أو بعد تصحيحها واستخرج قيمة نسبة العولنية المتوقعة (ETVR) كما ذكر سابقاً في فقرة تصحيح القيمة المقاسة.

حيث أن قيمة السنين المسموح بها هي خمسة بالعشرة بالمئة (0.5%) كما ورد في المعيار الصادر عن لجنة كهروتقنية الدولة [IEC, 60076-1 2011] والمعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.152-2013]

7.2 الطريقة الثانية: مقارنة نتائج فحص (TVR) بتدريج سابقه لمعدة (TTR) (سائح لفحوصات المصنعية (FAT) أو موقعية (SAT) أو الروسية) وذلك بعد استخراج قيمة (TTR_{cal}) بالإعتماد على قيمه نسبة اعوليه المقاسه (TVR) كما ذكر سابقاً في فقرة تصحيح اعيمه المقاسه حيث أن قيمه السابق المسموح بها بعد المقارنه بغير المعوضات لسبقه هي خمسة بالعشرة بالمئة (0.5%)

7.3 الطريقة الثالثة: مقارنة نتائج الفحص نتائج فحص لمعدة شبيهه تماماً (Twin or Sister)

7.4 الطريقة الرابعة: مقارنة نتائج الفحص بين الأطوار

إن هذا الفحص يمكنه إعطاء مؤشر عن وجود قصر أو قطع كلي (Open circuit or Crack) في المصنعات داخل المحول ولكنه لا يقوه بتحديد مكان العطل داخل الحلف مما يدفعنا للإسعانة بفحوصات أخرى من شأنها تكشف عن حالة المحول. لهذا فإنه وقد يصل الأمر إلى فتح حيران الخاص بالمحول (De-Tanking) معرفة مكان العطل ومسبباته، كما وتُحدّر الإشارة إلى جدول أورد به بعض المراجع يُستند على تحديد المصنف الذي يحوز لعطل للمحولات ثلاثية الأطوار ذات ثلاث ملفات، (Three Phase Tertiary Windings) بالإعتماد على نمط مخرجات هذا الفحص

الجدول رقم (4-5)

ملفات قياس الفولتية	ملفات قياس الفولتية		ملفات تطبيق الفولتية
	ملف الفولتية المنخفضة الثاني TV	ملف الفولتية المنخفضة الأول LV	
ملفات الفولتية المنخفضة الأول LV	نتيجه فحص مقبولة (TVR)	نتيجه فحص مقبولة (TVR) غير مقبولة	ملف الفولتية المرتفعة HV
ملفات الفولتية المنخفضة الثاني TV	نتيجه فحص مقبولة (TVR) غير مقبولة	نتيجه فحص مقبولة (TVR)	ملف الفولتية المرتفعة HV
ملفات الفولتية المرتفعة HV	نتيجه فحص مقبولة (TVR) غير مقبولة	نتيجه فحص مقبولة (TVR) غير مقبولة	ملف الفولتية المرتفعة HV

حالة خاصة: في حال كان مُعَيَّر الخطوة (Tap-changer) مُنْثَب على ملفات الموائية المحفصة لمحوّل على غير عادة وبصُرّ قبة عدد ملفات الموائية المحفصة، فإن بعض الخطوات (Taps) قد لا تحمّل نفس العدد من الملفات أي أن التغيّر في الموائية بين الخطوات (Taps) غير مُتماثل، وبالتالي فإن النسبة لكل خطوة (Tap) قد لا تكون بشكل تام مع القيمة المُثبّنة على لوحة بيانات المحوّل أي أن نسبة التناوب تجاوزت النسبة المسموح بها وهي خمسة بأعشرة بالمئة (0.5%) المُشار إليها سابقاً لذلك والمتأكد من سلامة المحوّل بلحاظ المحوّل الذّاية في تحليل قيمة الفحص.

✓ مقارنة القيمة المُقاسة بين الأطوار.

✓ حساب قبة التناوب بين نسخة الفحص للخطوتين (Taps) لأعلى و الأدنى فقط عن أن لا تزيد عن (0.5%) عن قيمة الفحوصات التفصيلية (FAT) أو جوبيعية (SAT) أو لرونبييه أو لقيمة الموجودة على لوحة البيانات للمحوّل.

8. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

8.1 توصيل الملفات الداخلي للمحوّل (Winding Configuration)

مجموعه التوصيل للمحوّل من الأمور التي تؤثر على نسخة الفحص وتؤدي إلى دهور نتائج حاصلة في حل عدد أحدها يعني الإحتياط لذلك بعد الإنتهاء من الفحص يجب مراعاة طريقة توصيل الملفات وذلك لتصحيح القيمة بشكل التصحيح كما سخرح فينه (ETVR) أو تصحيح قيم لفحص المُقاسه و يخرج قيمة (TTR) كما تم شرحه في دفتر تصحيح القيمة المُقاسة قبل عمل مقارنة بين القراءات السابقة والحالية للفحص أو ما يُسمى بعملية تحليل النتائج

8.2 التشبع العميق للقلب الحديدي (Iron Core deep saturation)

إن السبب فيخصوصات محوّل التي تعتمد في طبيعتها على تطبيق فوقيه أو يبر ثابت على المحوّل (DC) كفحص مقاومة ملفات محوّل (WRM) وفحص مقاومته الحزل (IR) من شأنه إحداث تشبع في القلب الحديدي للمحوّل أو ما يُسمى بمعينة القلب الحديدي، وهذا بدوره يؤدي زيادة تدرّ التهيّج الحراري للمعدات عند إجراء فحص نسبة عدد لفات (TTR) ويؤثر على نتيجة الفحص بكونية، وحيث أنّ تشبع القلب الحديدي للمحوّل على نتيجة هذا الفحص (TTR) فإنه يُصحح بالآتي

✓ عمل الفحوصات التي تؤدي إلى تشبع القلب الحديدي بعد فحص نسبة عدد لفات المحوّل (TTR)

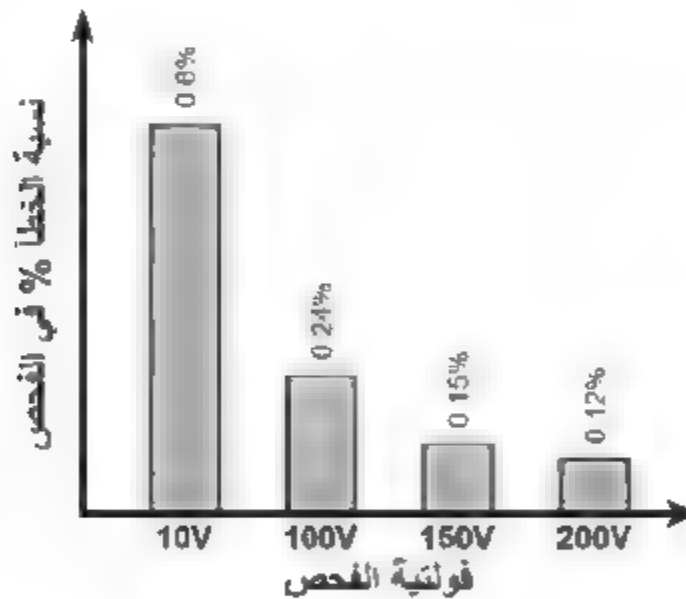
✓ إزالة معينة القلب الحديدي (De-magnetization) بعد الإنتهاء من فحوصات التيار أو عولسه الذسه (DC) وقبل البدء بفحص نسبة عدد لفات (TTR) بإحدى الطرق المذكورة في الفصول السابقة.

8.3 التوصيل الخاطئ لأطراف قياس الفولتية (Wrong connection)

هذه النوع من الأخطاء غالباً ما يحدث عند وصل جهز قياس الفولتية على أطراف ملفات محول لتحويله غير المشحونه بدلاً من الملفات المشحونه عند عمل الفحص لكل طور على حدة (Per phase measurements)، لذلك يجب تحديد أطراف 'المحول' التي يجب تطبيق الفولتية عليها والأطراف التي يجب قياس الفولتية عليها مسبقاً قبل البدء بالفحص وذلك بالإعتماد على المحاول في المصحق رقم (4-3) وفقاً لمجموعة التوصيل الخاصة بالمحول تحت الفحص.

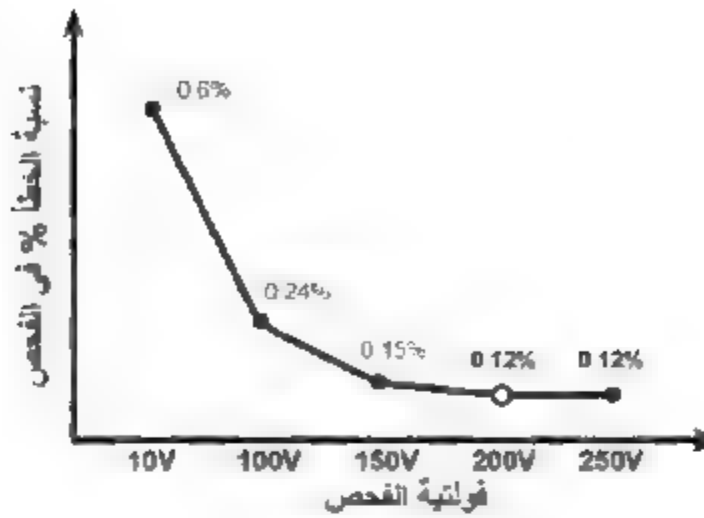
8.4 فولتية الفحص أو كما تُسمى التهييج (Excitation voltage)

دراسة الفولتية على أطراف الملفات لتحويله سحقة للفورسة المطبقة على الملفات الإستدائية تتناسب طردياً مع كميته المقيس المشترك بين الملفات (Mutual Flux)، ولزيادة قيمته هذا الفحص لمشاركت يجب زيادة قيمته فولتية الفحص (التهييج)، حيث أنه وبالاعتماد على ما ذكر سابقاً فإن نسبة الخطأ في قيمة نسبة فورسة المحول (TVR) تتناسب عكسياً مع قيمة دراسة الفحص (التهييج) كما هو مبين بالرسم البياني الموضح في الشكل (4-11) لمحور بالمواصفات التالية (Dyn1 35/6.9kv)



الشكل رقم (4-11)

ولكن محور هالذك قيمته فولتية عتبه (threshold) فولتية الفحص (التهييج)، عندها يكون نسبة الخطأ في قيمة الفحص أقل ما يمكن وبدأت بالثبات كما هو مبين بالشكل (4-12) محور بالمواصفات التالية (Dyn1 20/6.9kv) حيث قيمته فولتية العتبه هي تقريبا (200 V)



الشكل رقم (12-4)

مم سبق يمكن ملاحظة أن زيادة قيمة فولتية الفحص على تقليل نسبة الخطأ في القياس، لذلك لا يُنصح بإجراء هذا الفحص باستخدام فولتيات متدنية.

8.5 طريقة الفحص ثلاثية الطور (Three Phase testing) أو أحادية الطور (Single Phase testing)

من الشائع عند القيام بهذا الفحص استخدام مصدر "أحادي الطور" (Single Phase Source) بحيث يتم لقياس كل طور على حدة، ولكن عند القيام بهذا الطريقة يمكن مواجهة التحديات التالية:

- ✓ تأثير مصدر فولتية الفحص (Excitation test voltage) على نتيجة الفحص، حيث أنه كلما زادت فولتية الفحص كلما زادت نسبة الخطأ، أما في حال استخدام الطريقة ثلاثية طور (Three phase testing) فإن تأثير مستوي فولتية الفحص على نسبة الخطأ يقل.
- ✓ تأثير خسائر التهييج (Excitation Loss) على نتيجة الفحص.
- ✓ ضعف القياس "مشترط" من الملفات الابتدائية والثانوية مما يؤثر على نتيجة الفحص.

و للتقليل من تأثير هذه المعوقات يتم اللجوء إلى الحلول التالية:

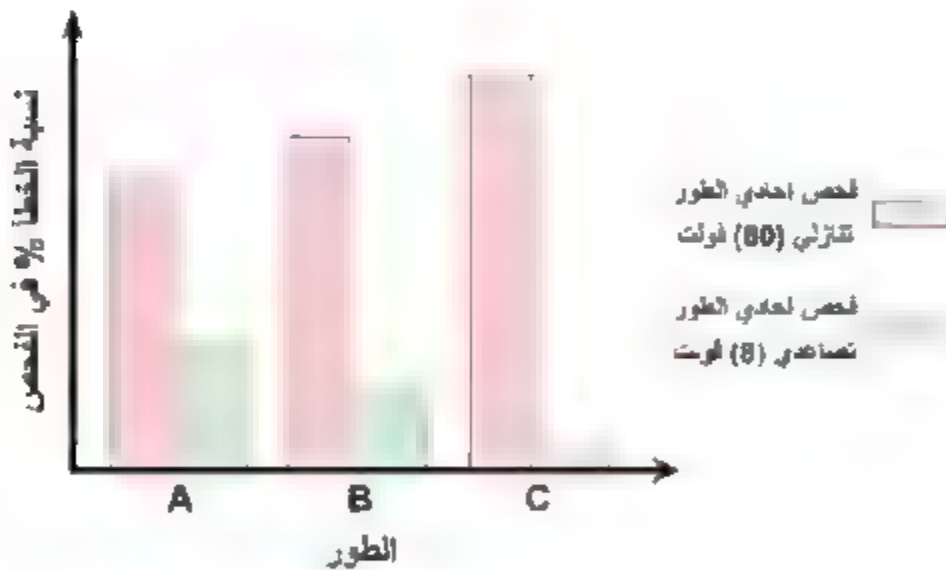
- ✓ رفع قيمة فولتية الفحص أو ما تسمى بفولتية "تهييج" (Excitation test voltage).
- ✓ استخدام أسلوب الفحص (Step-Up)، أي تطبيق فولتية الفحص على جهة من جهتي القوسية المنخفضة (LV windings) و قياس جهة ملفات الفولتية المرتفعة (HV winding).
- ✓ حقن القوسية بين (Line to Line) عوضاً عن (Line to Neutral).
- ✓ الفحص بالطريقة ثلاثية الطور (Three Phase Testing) أي باستخدام مصدر فولتية ثلاثي الطور.

8.6 توصيلة الملفات على شكل مثلث – Delta Connected Winding

عند إجراء فحص نسبة عدد النفاث (TTR) وكما تم شرحه مسبقاً في فقره فلسفة الفحص فإن المحول يكون مفتوح للأطراف (Open circuit) أثناء الفحص أي أنه غير مرتبط بحمل على دائرة الثانوية (No-Load) لأسباب تم ذكره أيضاً، ولكن في حال أردنا فحص محول وكانت ملفات ثانوية موصولة على شكل مثلث فربما في هذه الحاله ونظرًا لسهولة الملاحظة للملفات الثانوية (Delta connection) فإن ذلك من شأنه عمل حمل على الملفات الثانوية كما وأنها غير مفتوحة الأطراف وتظهر تيارات دوارة (Circulating currents) مما يرفع درجة الصداغ ويؤثر على نتيجة هذا الفحص (TTR test)

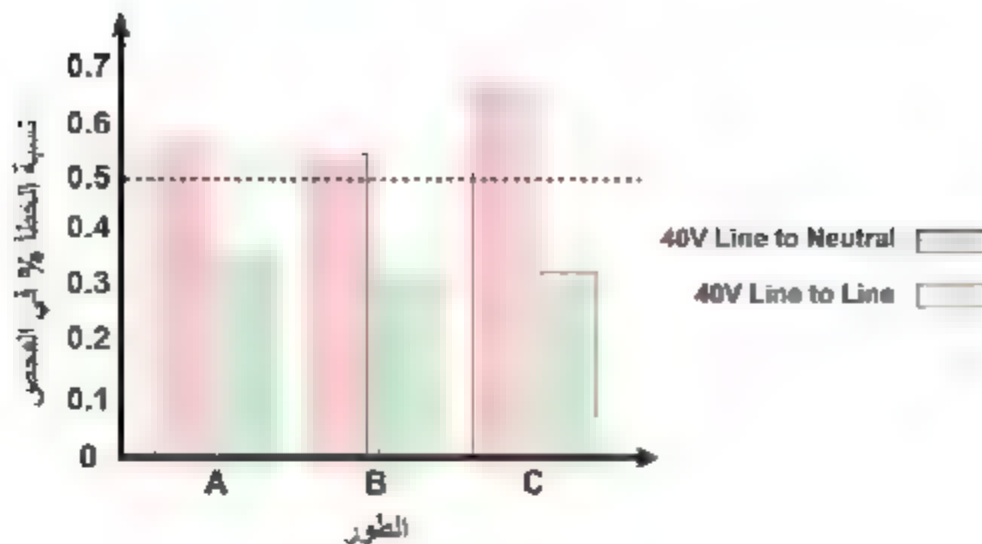
لذلك واستخلص من تأثير الصداغ الثانوية الموصولة على شكل مثلث (Delta) فإنه يُصبح بالإمكان

- ✓ يستخدم أسلوب الفحص التصاعدي (Step-Up)، أي تطبيق فولتية الفحص على جهة ملفات الجوليه المتخففة (LV windings) الموصولة على شكل مثلث (Delta) والقياس جهة ملفات الجولتية المرتفعة (HV winding) ونسب الشكل (4-13) تأثير أسلوب الفحص فيما إذا كان تصاعدي أو تنازلي على نسبة الخطأ في الفحص



الشكل رقم (4-13)

- ✓ الفحص بطريقة ثلاثة أطوار (Three Phase Testing) أي باستخدام مصدر فوسية ثلاثي الطور.
- ✓ حقن الفوسية بين (Line to Line) عوضاً عن (Line to Neutral) ونسب الشكل (4-14) تأثير حقن الفوسية بين الأطوار أو بين أطوار ونقطة التعادل على نسبة الخطأ في الفحص



الشكل رقم (4-14)

8.7 تأريض طرف حقن الفولتية

عند تطبيق هذا الفحص باستخدام مصدر فولتية مترددة أحادي الطور يجب تأريض طرف نقطة التعادل (Neutral point) كما هو مبين في توصيلة الفحص الموضحة في الشكل (4-8)

9. فحوصات إضافية داعمة

تعتبر المحولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية لما لها من دور في ديمومة سيرين لنظام الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة الكهربائية جميعها بالإضافة إلى تكاملها المادية المرتفعة، لذلك لا يمكن الاعتماد على فحص فحص واحد لتقييم حالة المحول والمدة بغير الإجراءات التصحيحية لهذا المحول، بل يجب فحص فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع العنصر بالضغط ثم بعد ذلك يُعبر العمل لإجراء التصحيحي اللازم لهذا المحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنِّع هذا المحول.

فبعد إجراء فحص نسبة عدد الملفات (TTR) وكانت نتائج الفحص غير مُرضية، لا بُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى لتأكيد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحية فهذه الفحوصات من شأنها الكشف عن وجود قطع أو قصر بين ملفات المحول بحساسية فوق نظيراتها لهذا الفحص حيث يمكن الإسهام به بفحص تيار التحفيز (Excitation current) للكشف عن وجود قصر بين ملفات المحول، وكذلك يمكن الإسهام به بفحص مقاومة الملفات (Winding resistance) للكشف عن وجود قطع كلي أو جزئي في سعات المحول، ونصاً فحص تحليل الاستجابة الترددية المسحي (Sweep frequency response analysis SFRA) للكشف عن حالي القطع والقصر بين السعات بالإضافة لأعطال القلب الحديدي للمحول (Iron Core)

10. أمثلة على نتائج فحوصات قصصية

10.1 العتال الأول: الشكل (4-15) يُبين قيم فحص نسبه العولتيه (TVR) تصعي (FAT) لمحول ثلاثي لاطور ثنائي لمتاب (Three Phase Two Windings) موصول بمرسه (YNd11) ذو مُعيّر خطوة من نوع (DETC or OCTC)

[illegible]

كلمة رقم (4-15)

10.2 المثال الثاني: الشكل (16-4) يبين قيمه وحدتي بسطة (سوفية) (TVR) مصصي (FAT) محول ثلاثي لأبوزر في الحفان (Three Phase Two Windings) موصول بطريقة (Dyn1) ذو معتز حلاوة من نوع (OLTC)

Account Name		Type of Contribution		Customer		MEASUREMENT OF VOLTAGE RATIO AND CHECK OF PHASE		Transformer	
Account No.		Fund No.		Transformer No.		Voltage Ratio		Phase	
Transformer No.		Voltage Ratio		Phase		Voltage Ratio		Phase	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

الشكل رقم (4-16)

10.3 المثال الثاني: الشكل (4-17) يُبين قيم فحص نسبة التوتمية (TVR) مصبغ (FAT) محول ثلاثي الأطوار ثلاثي المبدت (Three Phase Tertiary Windings) موصول بطريقة (Dd0-d0) ذو مُعَيَّر خطوة من نوع (OCTC أو DETC).

Measurement of voltage ratio and check of phase displacement					
1. HV-LV1 voltage ratio measurement					
Tapping	HV (V)	LV1 (V)	Voltage ratio error (%)		
			$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{U_1}{U_3}$	$\frac{U_1}{U_4}$
1	21000	11500	0.28	0.23	0.28
2	20500		0.19	0.17	0.21
3	20000		0.20	0.19	0.20
4	19500		0.06	0.03	0.06
5	19000		0.04	0.03	0.05
2. Check of phase displacement of HV-LV1 Dd0					
3. HV-LV2 voltage ratio measurement					
Tapping	HV (V)	LV2 (V)	Voltage ratio error (%)		
			$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{U_1}{U_3}$	$\frac{U_1}{U_4}$
1	21000	11500	0.29	0.28	0.30
2	20500		0.23	0.21	0.22
3	20000		0.16	0.14	0.16
4	19500		0.06	0.04	0.05
5	19000		0.02	0.03	0.03
4. Check of phase displacement of HV-LV2 Dd0					
5. LV1-LV2 voltage ratio measurement					
Tapping	LV1 (V)	LV2 (V)	Voltage ratio error (%)		
			$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{U_1}{U_3}$	$\frac{U_1}{U_4}$
1	11500	11500	0.06	0.04	0.08
6. Check of phase displacement of LV1-LV2 ddo					
Test results			Measured values meet the relevant requirement		

الشكل رقم (4-17)

الملحق (4-1)

تَّوَيَّه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المُصنعة للجهاز.

فحص نسبة عدد لفات المحول باستخدام جهاز
TESTRANO 600 by OMICRON



الشكل رقم (4-1-1)

- مواصفات الجهاز: (TESTRANO600 Brochure)
 - فولتية المدخل الإسمية 100/240 V, 50/60 Hz .
 - فولتية المدخل المسموح بها : 85-264 V, 45-65 Hz
 - نطاق تيار/فولتية المخرج : حسب الجدول التالي.

عدد الأطوار	نطاق الفولتية (AC)	التيار لأقصى (AC)
ثلاثي الأطوار	0 _ 230 V	100 mA
	0 _ 80 V	16 A
	0 _ 40 V	33 A
أحادي الطور	0 _ 240 V	16 A
	0 _ 120 V	33 A

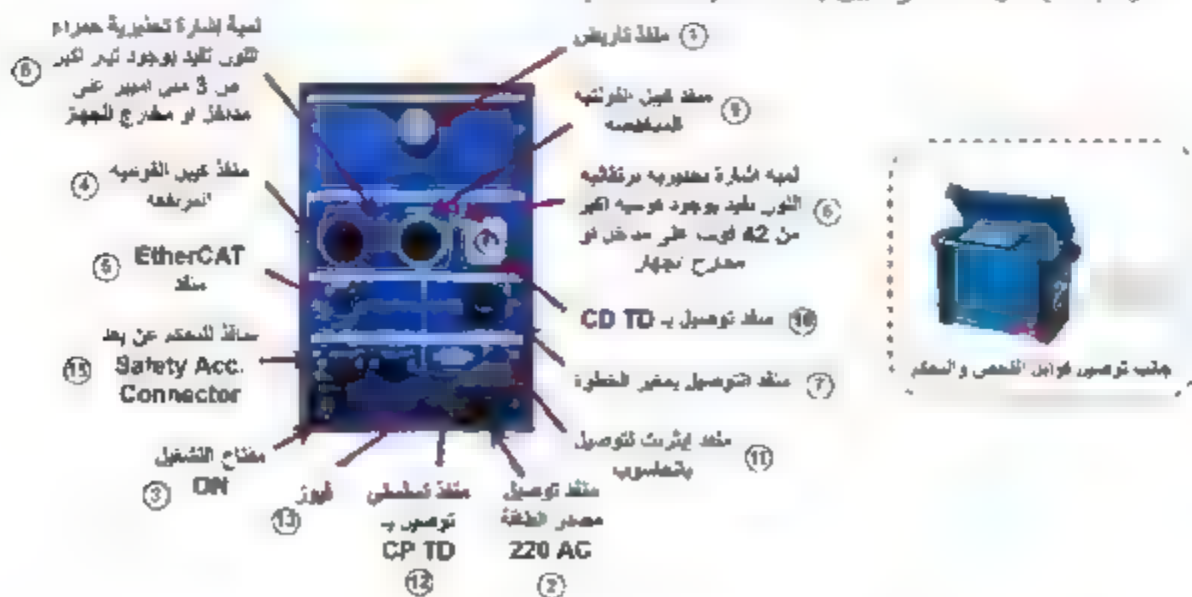
- دقة النطاق المُقاس . حسب الجدول التالي.

النطاق	دقة القراءات
1:1 ... 10	0.03% rd + 0.043% range
1 10 ... 100	0.027% rd + 0.043% range
1:100 ... 1000	0.027% rd + 0.043% range
1:1000 ... 10000	0.027% rd + 0.043% range

- 14° F to 131° F (-10° C to 55° C) RH to 95%, Non condensing
- -22 to 158° F (-30 to +70° C)
- 580 x 386 x 229 mm : أبعاد الجهاز
- 45.5 lb. (20.6 kg), with display . وزن الجهاز

- خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. لتأكد من تطبيق خطوات (5.1 إلى 5.5) الواردة في فقرات خطوات الفحص من فصل فحص نسبة عدد الثبات
2. لتأكد من أن الدائرة الفرد فحصها غير مكهربة وعدم وجود احتمالية كهربيتها أثناء الفحص
3. تجنب لمس دائرة الشخص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد التأكد من عدم وجود توتيرة وأن الملامت تم تفريغها من الشحنات المخزنة تماماً
4. لتأكد من أن استثناء التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك المشابك الخاصة بها (Clamps) في حزمة حبلية وغير متسخة ولا تعاني من أية أضرار فيزنية كاشقوق أو اكسور
5. لتأكد من أن جهاز الفحص الفراد يستخدمه معاير (Calibrated)
6. قبل البدء بفحص يُفضل التعرف على أجزاء جهاز الفحص من شاشة ومقود وأزرار ومفاتيح تحكم ولصقات إشارة كما هو مبين بالأشكال (263-4).




الشكل رقم {4-1-2}

13. لتأكد من أن كيس الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) معاوقة قليلة (Low Impedance)
14. توصيل جهاز الفحص بمصدر طاقة كهربائية عبر المنفذ رقم (2) في الشكل (4-1-2) بحيث يتم وصل كابل الطاقة بجهاز الفحص أولاً ومن ثم بالمصدر الكهربائي.
15. تشغيل الجهاز بواسطة مفتاح التشغيل رقم (3) في الشكل (4-1-2) عن طريق تعير وضعيه من (0) إلى (1) الموضحة على المفتاح
16. ملاحظة سكر كل من عبة الإشارة حصراء اللون رقم (18) واحلقة التردد حول زر بدء/يقف لمحض (Start/Stop) في الشكل (4-1-3)، وهذا يعني أن الجيار لا يحض تيار ولا فولتية كما يظهر في الشكل (4-1-4)



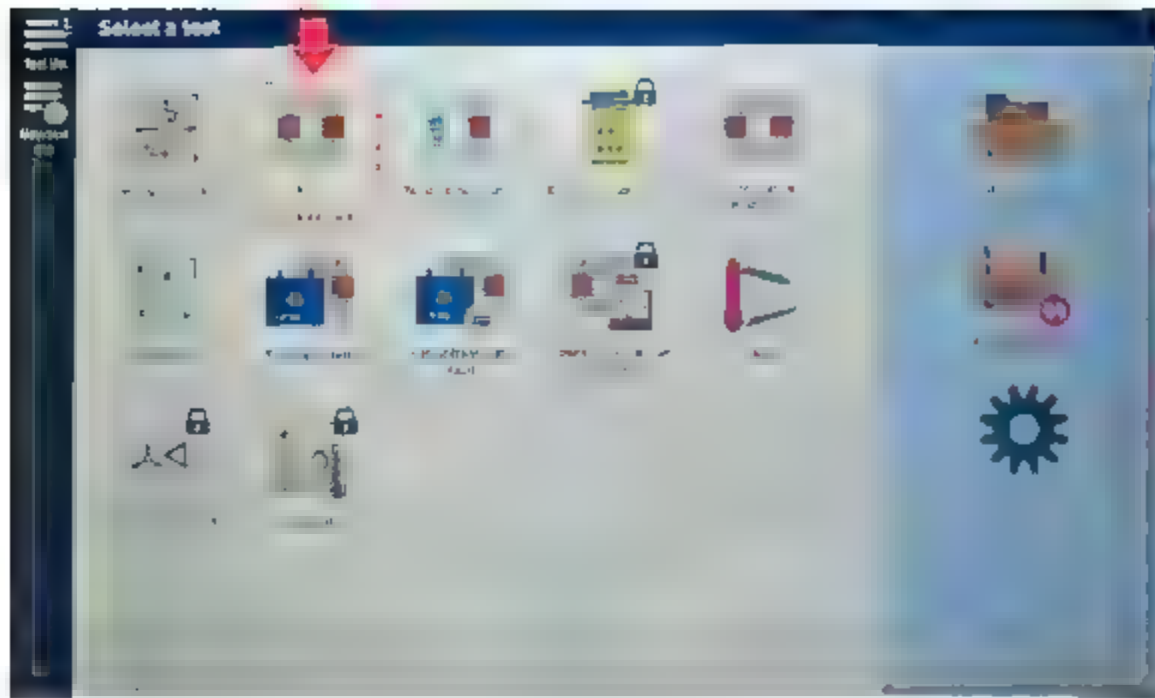
الشكل رقم (4-1-4)

17. في حال كان هناك مشكله ما في الأرضي سوف تظهر رسالة على شاشة جهاز ذلك وستظهر العلامة ثانية أسفل شاشة ، وفي حال عدم إدرة أي صوت تحديري أو ظهور أية رسائل تحديريه على الشاشة فإن ذلك يعني أن الأرضي والجيار سليمين والجيار مُهيأ للعمل باقي لتوصيلات والبدء بالفحص.

ملحوظة: يُتيح جهاز الفحص (TESTRANO 600) إمكانية ضبط إعدادات الفحص وأحرفه بطريقتين. الطريقة الأولى بواسطة شاشة اللمس (Touch Control) مباشرة والطريقة الثانية بواسطة توصيل جهاز الحاسوب بجهاز الفحص (TESTRANO 600) وإتمام الفحص عبر برنامج (Primary Test Manger - PTM). حيث سيتم انصاف للطريقة الأولى فقط في هذا الملحق.

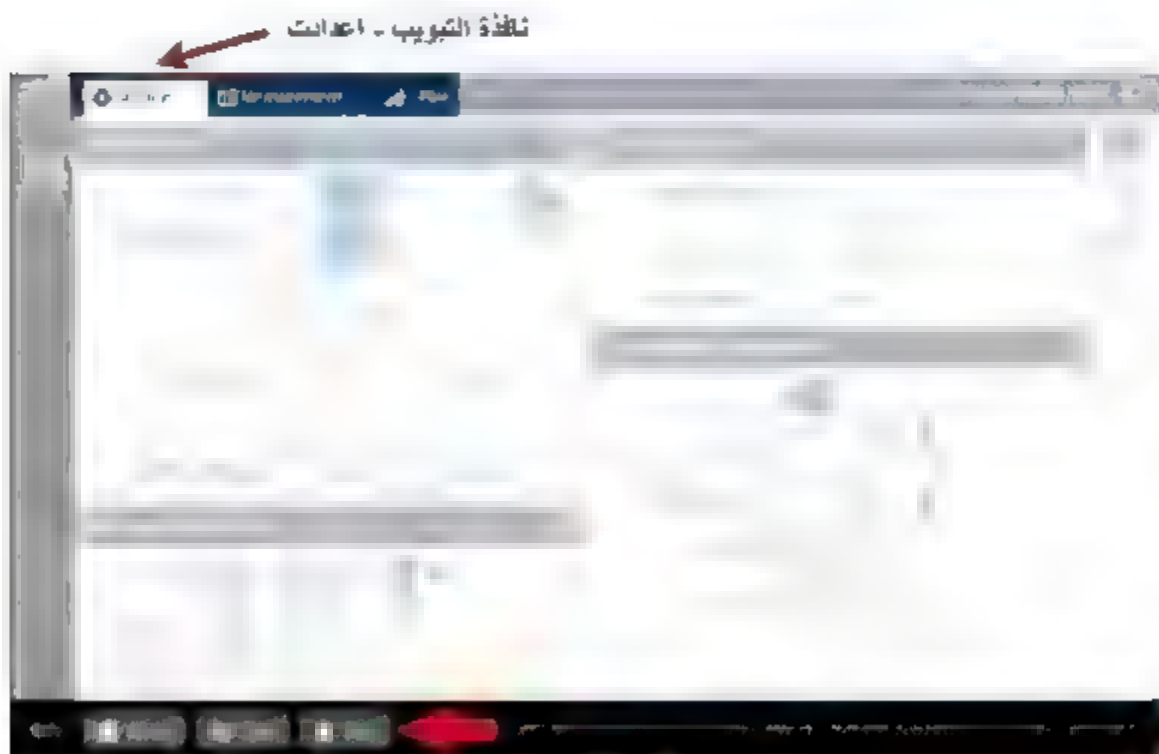


18. اختيار فحص نسبة اللغات/ لفولتية (Ratio) من القائمة الرئيسية الظاهرة على شاشة اللمس (Touch Control) والمُبيية في الشكل (4-1-5)



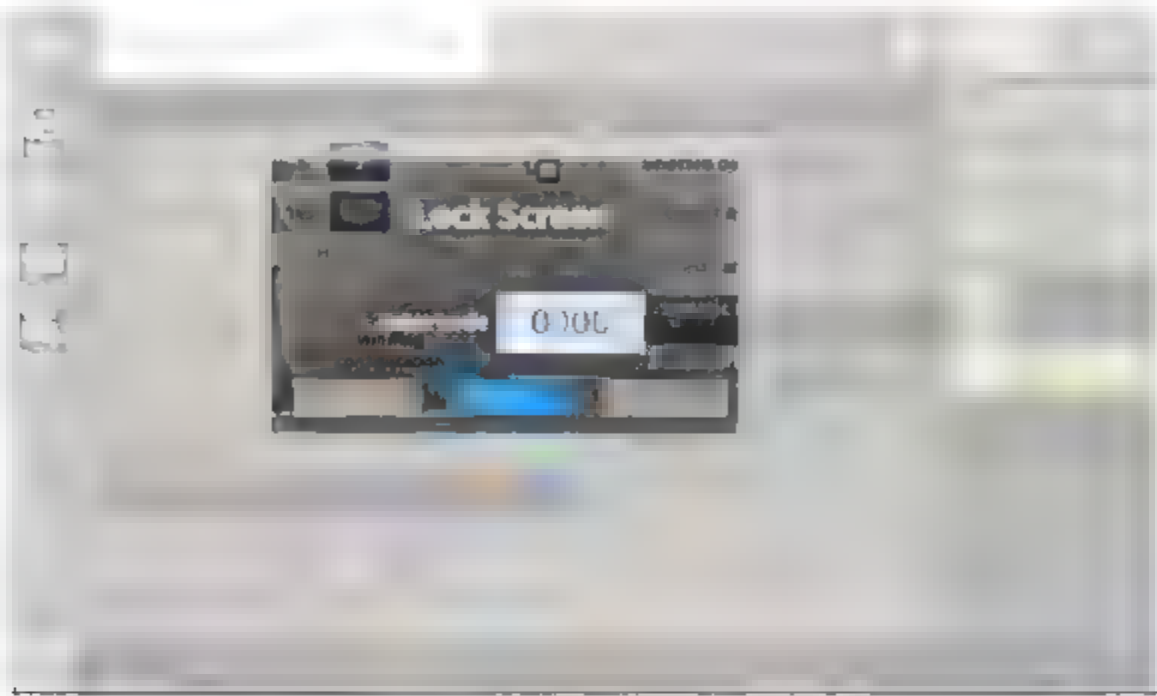
الشكل رقم (4-1-5)

19. بعد ذلك ظهر الشاشة الرئيسية في الشكل (4-1-6) ويكون بالمدونة على نافذة التثبيت، عدد من (Settings) يقوم بعمل فحص (Software Lock) المحدد على الوضعية لأسه أثناء عمل اتومبيله المنسبه المحدد، وذلك بالضغط على زر الفعل الظاهر تسع لشاشته كآ هو شين في الشكل (4-1-6)



الشكل رقم (4-1-6)

20 بعد الضغط على زر العنق (Lock) المبين في الشكل السابق يظهر المدقة لبرقية المنة في شكل (4-1-7)، ثم نقوم بإدخال كود ربي و الضغط على كلمة (Lock) وبذلك يكون قد وصل للوصعية لآمنه لجهاز.



الشكل رقم (4-1-7)

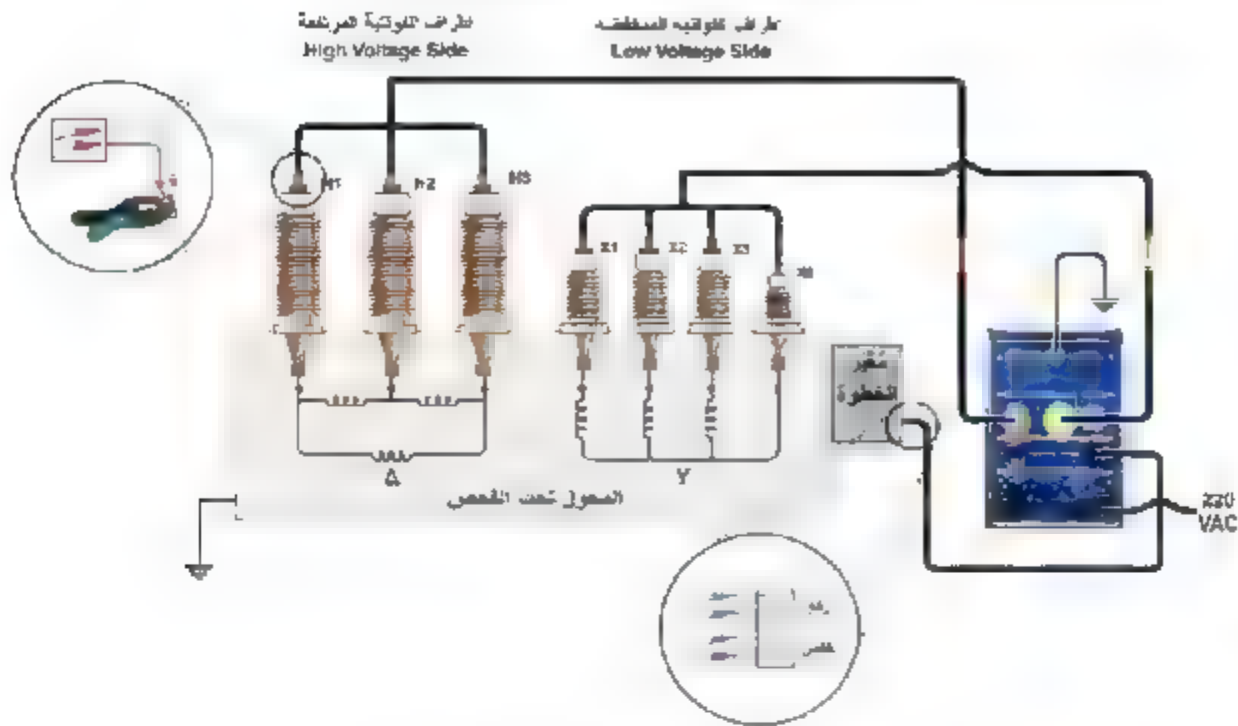
21. توصيل الكوابل الظاهرة في الشكل (4-1-8) بجهاز الفحص عبر مدقة لمينة في الشكل (4-1-2) كالآتي:

- 21.1 توصيل كابل احواسه بحرفقة (الأحمر) بالمدقة رقم (4) المنة في الشكل (4-1-2)
- 21.2 توصيل كابل لموتية المخفضه (الأصفر) بالمدقة رقم (9) المبين في الشكل (4-1-2).
- 21.3 توصيل كابل مغيرا خطوه (الأسود) بالمدقة رقم (7) المبين في الشكل (4-1-2)



الشكل رقم (4-1-8)

22 توصيل كوابل جهز التحصن بالمحول وفقاً للتوصيلة "فنية" بالشكل (4-1-9)



الشكل رقم (4-1-9)

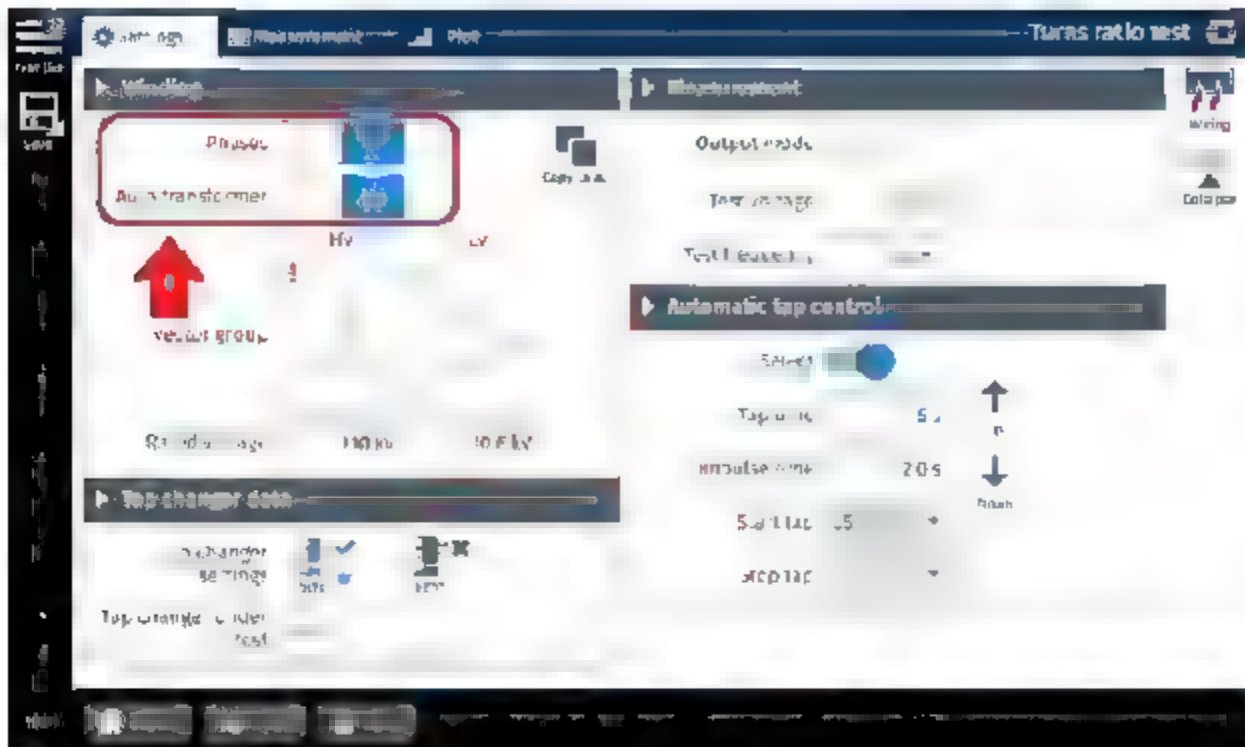
23 ردغ، إضافة الكهربائية المُعَبَّرَ الخطوات (Tap-changer) فيما د كات، مدمجة

24. لتأكد من حسب حوضر سلامة، الإضافة للشواخص المحيطة

25 بعد الانتهاء من التوصيل، كامله، يقوم بفتح (Release) زر البدء، التحصن في حاله ضروري (Emergency Stop Button)

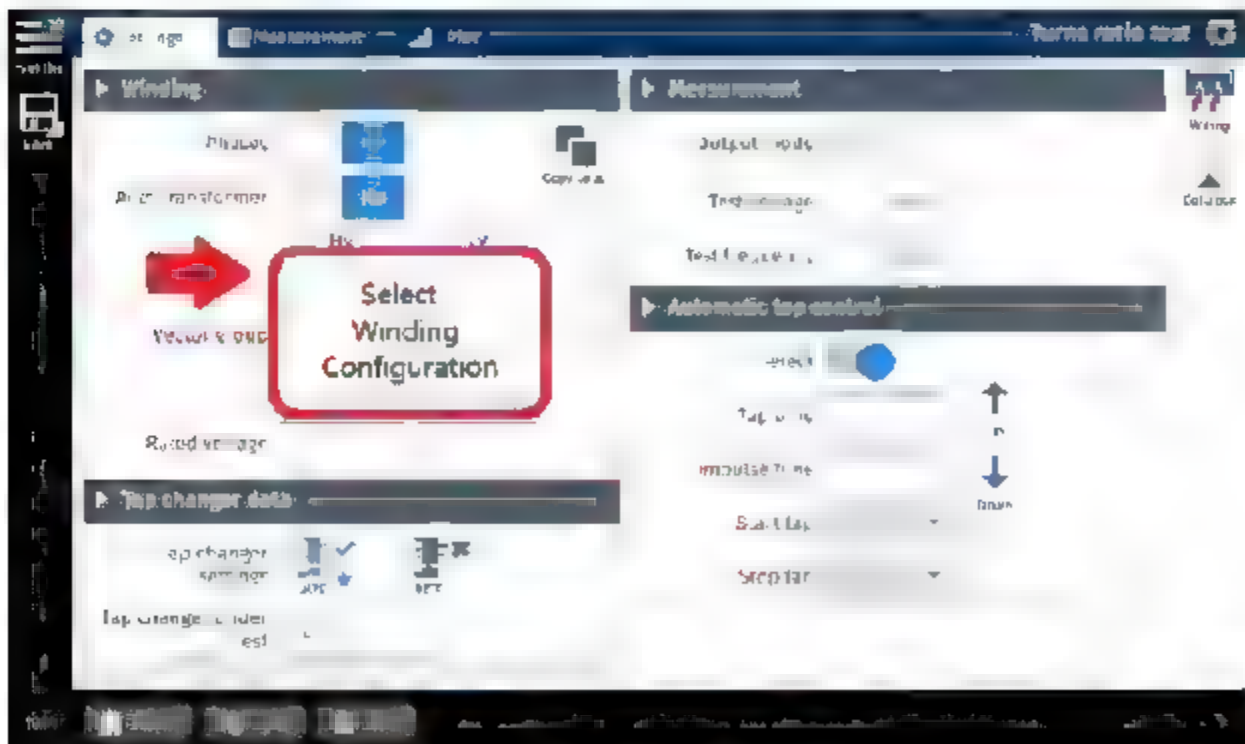
26. الرجوع لشاشة اللبس وره قبل الشاشة عبر إدخال الكود الرباعي وانضغط على 'يقونه لإدخال' ويمكن كذلك ره فهر، شاشة عبر طلاء الجهاز ونشغيله مرة أخرى.

27 من الشاشة المضافة في الشكل (4-1-10) والتي يكون بإيديه على نافذة التثبيت إعدادات (Settings) ثم تحديد عدد أطوار 'المحول' الفرع فحصة الضغط على رقم (3) أي أنه ثلاثي لصور (3 phase transformer)، ثم يتم الضغط على (No) بجانب المحول التلقائي (Auto Transformer)



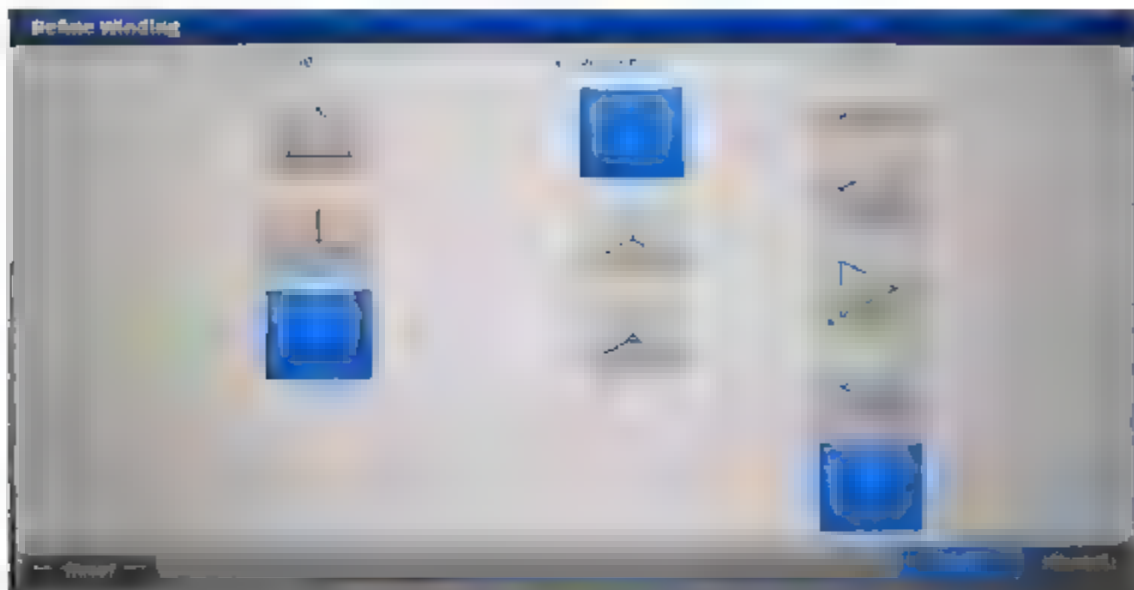
الشكل رقم (4-1-10)

28. قوم بتحديد مجموعة التوصيل (Vector group) الخاصة بالدول اشراد فحصبه وذلك بالضغط على جمبه اختر مجموعة التوصيل (Select winding configuration) المظهرة على الشاشة والاعدية في الشكل (4-1-11) مظهر لما شديفة تحديد مجموعة التوصيل



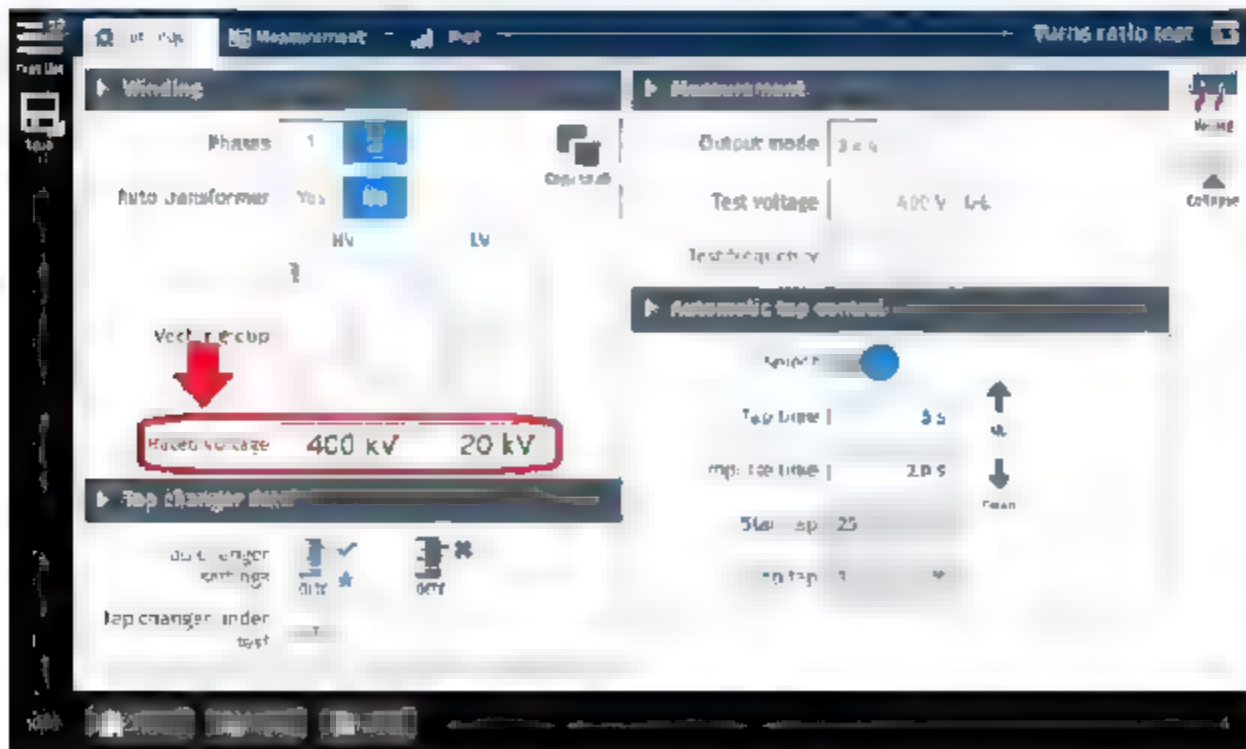
الشكل رقم (4-1-11)

29 من شاشة تحديد مجموعة التوصيل الظاهرة في الشكل (4-1-12) نقوم تحديد مجموعته لتوصيل لخدمة ٥ محول أفراد فحصة، حيث تم تحديد المجموعه (YNd11) كمثال ثم الصبط على زر حفظ (Save)



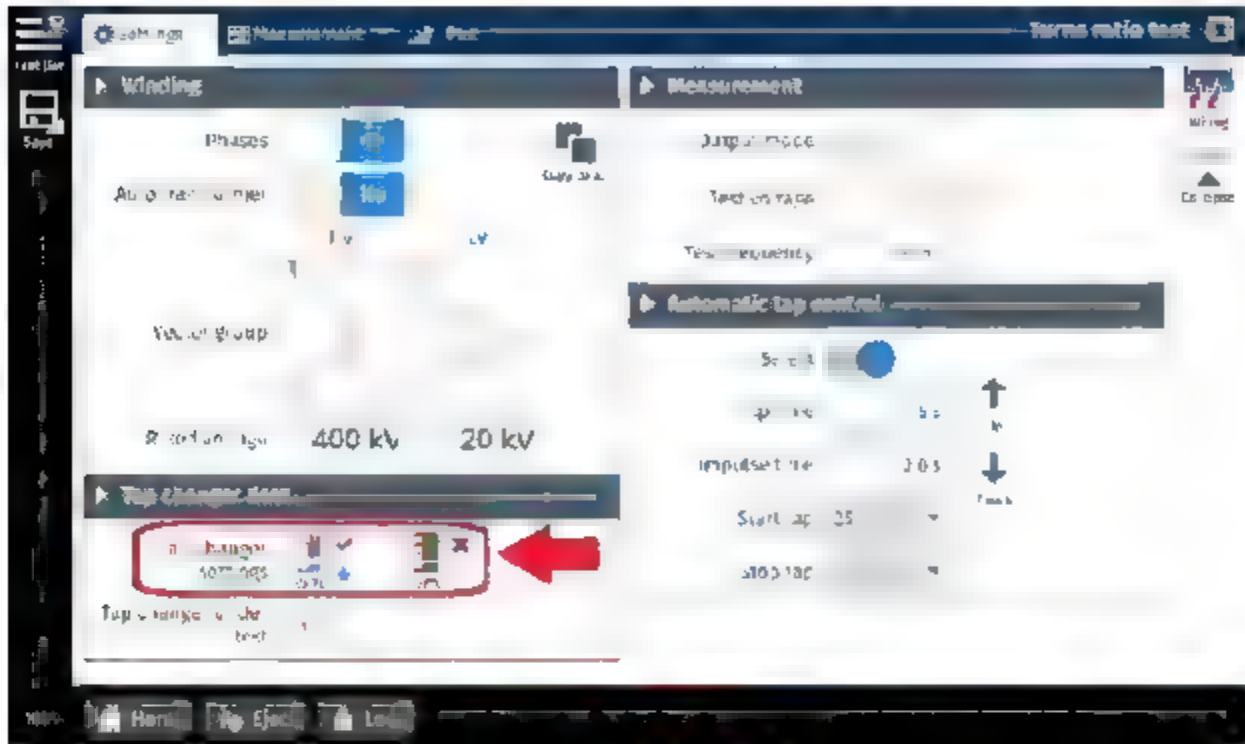
الشكل رقم (4-1-12)

30 تحديد 'موتيرة' (إسمية للمحول)، 'أفراد فحصة وذلك بإدخال' قيمه هذه لموتيرة بالكل المخصص، لها كما هو مبين بالشكل (4-1-13)



الشكل رقم (4-1-13)

31. تحديد نوع مُغيّر الخطوة (Tap Changer) فيما إذا كان (OLTC أو DETC)، وفي حالما هذه تقوم بـجهدار (OLTC) وذلك بالضغط عليها كما هو مُبين بالشكل (4-1-14)



الشكل رقم (4-1-14)

32. تحديد عدد فولتية محرج (Output mode) بالضغط على (3 phases) وذلك لتفعيل الفحص ، النمط ثلاثي الأطوار، وكذلك تحديد فولتية وتردد الفحص كما هو مُبين في الشكل (4-1-15)



الشكل رقم (4-1-15)

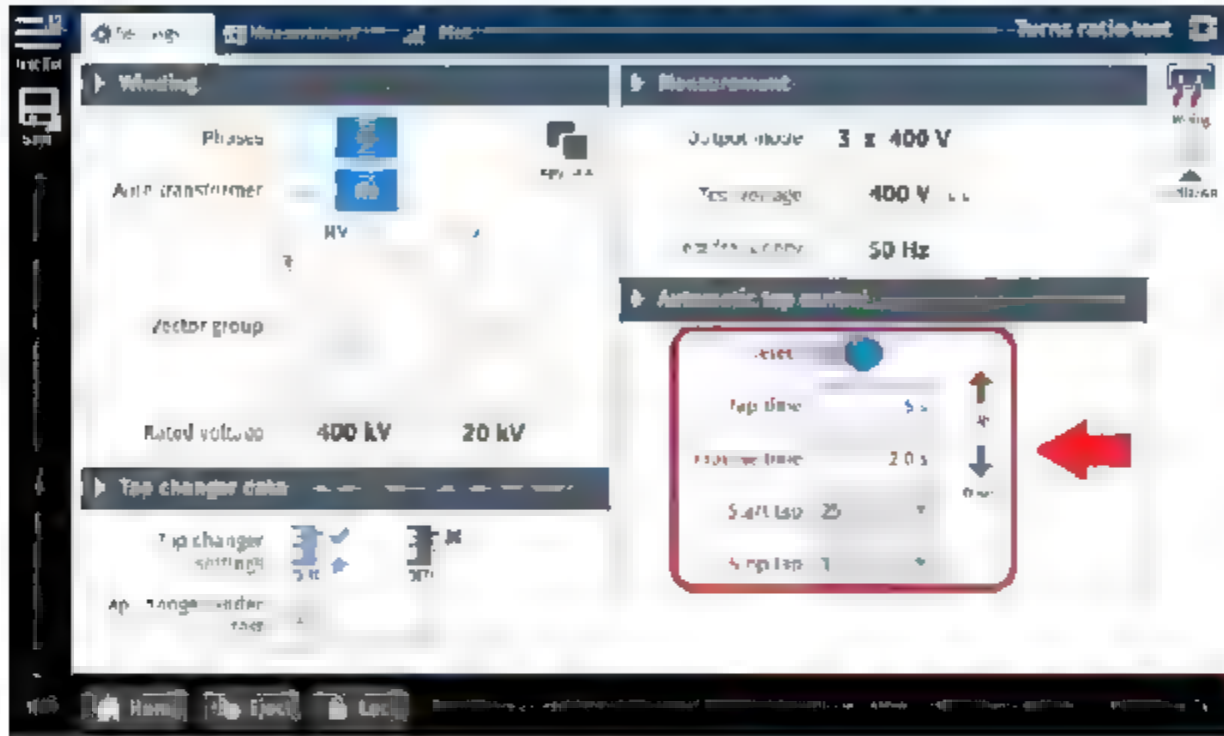
33. ضبط إعدادات مُغيّر الخطوة (Tap Changer) في حال تم اختيار (OLTC) كما هو موضح في الشكل (4-1-16) ووفقاً للخطوات التالية

33.1 تحديد وضع التغير بين الخطوات (Taps) يدوي (Manual) أو تلقائي (Automatic)

33.2 تحديد زمن تغير بين الخطوات (Tap time)

33.3 تحديد مدة إشارة التغير بين الخطوات (Impulse time)

33.4 تحديد حسية العدانة (Start Tap) وخطوة النهاية (Stop Tap)



الشكل رقم (4-1-16)

34 بالرجوع إلى لوحة التحكم باللمس (Touch Control) والضغط على علامة التثبيت هيئات

(Measurements) المحددة لهذه التثبيت عدادات (Settings) لتظهر شاشة التثبيت بشكل

(4-1-17) ثم نقوم بالضغط على زر إبدء (Start) ثم التأكد من دائرة حلقة الزرءاء حول زر

(Start/Stop) الظاهر في الشكل (4-1-4) وبذلك نكون الجهر بوضعيه الإستعداد للتحكم



الشكل رقم (4-1-17)

35 اضغط على زر إبدء/توقف (Start/Stop)  الظاهر في الشكل (4-1-4) يبدأ الفحص ويتم لحقن الفعلي للنتائج ويبدأ الصوت الأحمر  والتحليل للرقاء حول زر (Start/Stop)  د اومض بشكل متقطع لمدة ثلاث ثواني تقريباً.

تحذير: لا تلم برية "سلاك" الفحص إلا بعد التأكد من أن لمبة الإشارة التحذيرية الحمراء على الوجه الأمامية (الرئيسية) لجهاز الفحص مطفئة (OFF) ولمبت الإشارة التحذيرية على الواجهة الجانبية لجهاز الفحص مطفئة (OFF) وكذلك لمبة الإشارة الخضراء على الواجهة الأمامية (الرئيسية) لجهاز الفحص مضيئة (ON)



36 بعد الانتهاء من الفحص يومض الصوت الأخضر  وبعدها يمكن إيجاد المنتج في علامة صوت قياسات (Measurements) كما هو مبين بالشكل (4-1-18) وبذلك يكون قد انتهى الفحص



الشكل رقم (3-1-20)

الملحق (2-4)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المُصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص نسبة عدد لفات المحول باستخدام جهاز TTRU3 by MEGGER



الشكل رقم (1-2-4)

• مواصفات الجهاز: حسب (TTRU3 User Manual).

- فولتية المدخل الاسمية . 220V, 50Hz .
- فوائيه المدخل المسموح بها 90-264V, 47-63Hz, 250VA max
- نطاق تيار/فولتية المخرج - حسب الجدول التالي

3Ph 1 - 48V, up to 250 on primary	الفولتية (AC)
0.1mA - 1A, MAX 1A @ 48V	التيار
50 -480Hz	التردد

- أساليب الفحص : حسب الجدول التالي

3Ph Step-up
3Ph Step-down
1Ph Step-up
1Ph Step-down

- دقة الشحنة المقدسة : حسب الجدول أدنى عند درجة الحرارة (-20° - 50°C)

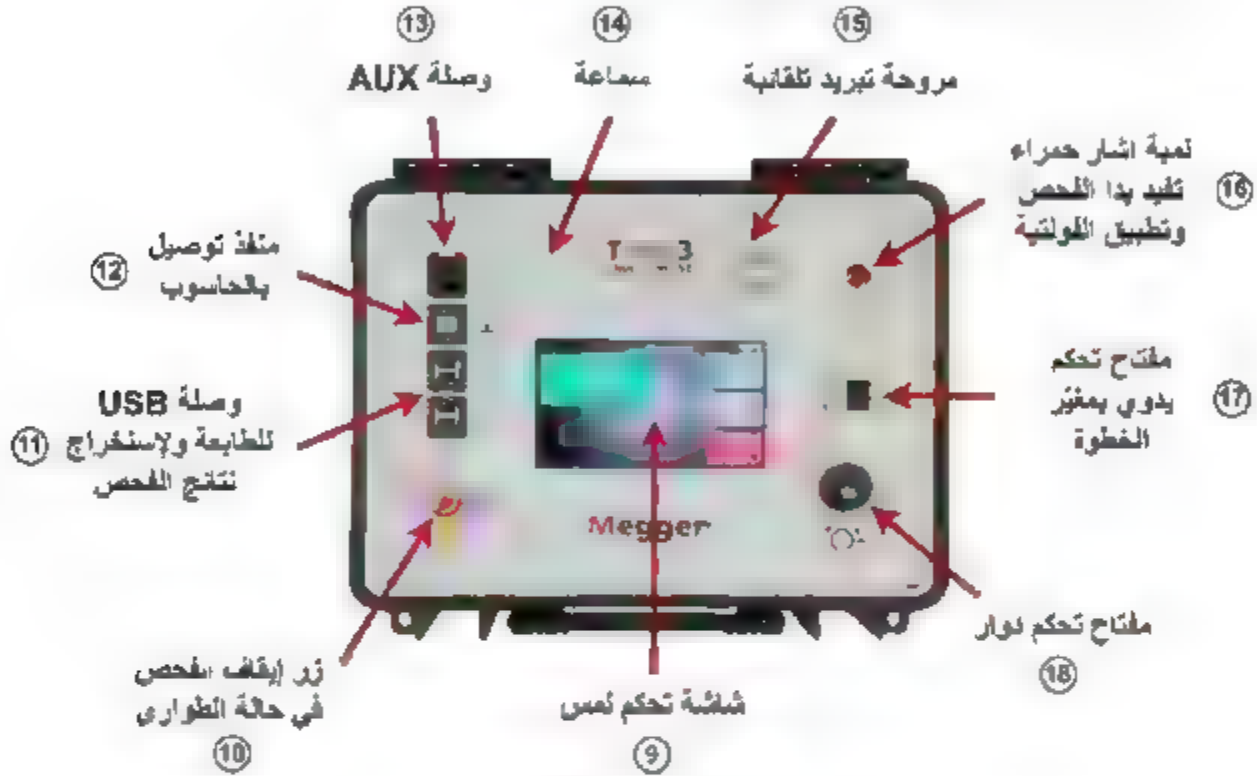
أسلوب الفحص	دقة القراءات
درجتي Step-down (25-48V)	±0.05% 0.8 - 1000
	±0.10% 1001 - 2000
	±0.30% 2001 - 15000
	±1% 15001 - 50000
تنازلي Step-down (1-24V)	±0.10% 0.8 - 1000
	±0.20% 1001 - 2000
	±0.60% 2001 - 15000
تصاعدي Step-up (25-250V)	±0.05% 0.8 - 200
	±0.10% 0.8 - 200
تصاعدي Step-up (1-24V)	±0.05% 0.8 - 200
	±0.10% 0.8 - 200

- بيئة التشغيل : محبلة
- -4° F to 122° F (-20° C to 50° C) RH to 90%, Non condensing
- -22 to 158° F (-30 to +70°C) : بيئة اختباريه : محبلة
- 406 x 304 x 254 mm : أبعاد الجهاز
- 14 lb. (6.5 kg) : وزن الجهاز

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

- 1 لتأكد من تطبيق الخطوات (5.1 إلى 5.5) الواردة في فقره خطوات الفحص من فصل فحص نسبة عدد اللغات
- 2 لتأكد من أن المثر الفرد فحصها غير مكهرنة وعدم وجود احتمالية كهرنتها أثناء الفحص
- 3 تحسب احمس : اثره : فحص أثناء إجراء الفحص أو بعده. إلا بعد لتأكد من عدم وجود فوسية وأن لملفات تم تقرعها من الشحنات المخزنة تماماً.

4. لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك المشابك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أية أضرار فيزيائية كالشقوق أو الكسور.
5. التأكد من أن جهاز الفحص المُراد استخدامه مُعاير (Calibrated)، مع مراعاة عدم استخدام لجهاز في الأجواء القابلة للإفجار.
6. قبل البدء بفحص يُعَيَّن التعرف على أجزاء جهاز الفحص من شاشة ومفتاح زر ومفاتيح تحكم ولصقات إشارة كما هو مبين بالشكل (4-2-263).



الشكل رقم (4-2-2)



الشكل رقم (4-2-3)

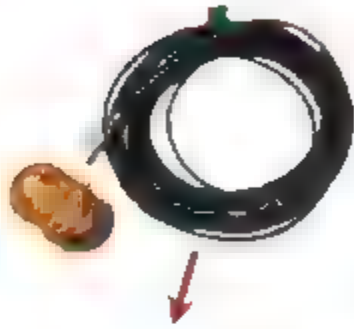
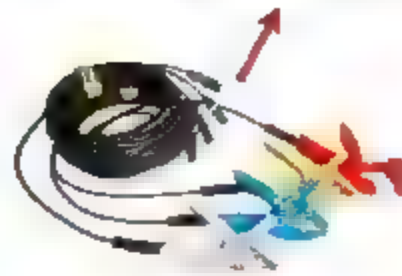
7. تهيئة منطقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية:
 - 7.1. التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2. التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشعال في منطقة الفحص.

- 7.3 التأكد من التهوية الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مغلقة.
- 7.4 مراعاة أن يكون سطح الفحص مسوي قدر الإمكان.
- 7.5 التأكد من سلامة نظام التأريض في منطقة الفحص.
- 7.6 وضع حوز حول منطقة الفحص وشواخص تحدد بوجود فحص ذو جودة وتيار خطير
- 8 إحصار جهاز فحص (TTRU3) إلى الموقع مع مراعاة وضع الجهاز بالظل وعدم تعريضه لأشعة الشمس مباشرة وفي طرئين، حيث أن الحرارة الشديدة للجهاز يجب ألا تزيد عن (50°) درجة مئوية، وكذلك مراعاة جفاف أجزاء الجهاز جميعها قبل تشغيله.
- 9 التأكد من أن مفتاح التشغيل الخاص بجهاز الفحص رقم (3) في الشكل (3-2-4) على وضعه (OFF - 0) الموصحة على المفتاح.
- 10 التأكد من ضغط زر إنعاف الفحص في حالات الطوارئ (Emergency Push Button) رقم (10) في الشكل (2-2-4).
- 11 وضع جهاز الفحص بالأرض (Local station earth) عبر مسد تأريض رقم (1) في الشكل (2-2-4) (3) بواسطة الكابل المورّد مع الجهاز من قبل الشركة المصنّعة أو بواسطة كابل تأريض ذو مساحة مقطع مناسبة أقرب ما يمكن على مُشغل الجهاز لتقليل معاوقته الأرض (Impedance) قدر المستطاع، مع مراعاة أن يكون كابل التأريض أول كابل يتم وصله وآخر كابل يتم إزالته عن الجهاز بعد الفحص.
- 12 التأكد من أن حوز المحلول موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار تأريض ذو معاوقة قليلة (Low Impedance)
- 13 التأكد من أن كيبس الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقة قليلة (Low Impedance)
- 14 توصيل جهاز فحص بمصدر الطاقة الكهربائي عبر المنفذ رقم (2) في الشكل (3-2-4) بحيث يتم توصيل كابل الطاقة بجهاز الفحص أولاً ومن ثم بالمصدر الكهربائي
- 15 توصيل الكوابل الصادرة في الشكل (4-2-4) بجهاز الفحص عبر المنافذ المخصصة في الشكل (3-2-4) كالآتي:
 - 15.1 توصيل كيبس الفوتية لمرئعه (الأحمر) بالمنفذ رقم (4) النقي في الشكل (3-2-4)
 - 15.2 توصيل كيبس الفوتية المنخفضة (الأسود) بالمنفذ رقم (5) النقي في الشكل (3-2-4).
 - 15.3 توصيل كيبس التحكم بمتغير الخطوة بالمنفذ رقم (6) النقي في الشكل (3-2-4)

كوابل فحص ملفات الفولتية المرتفعة



كوابل فحص ملفات الفولتية المنخفضة



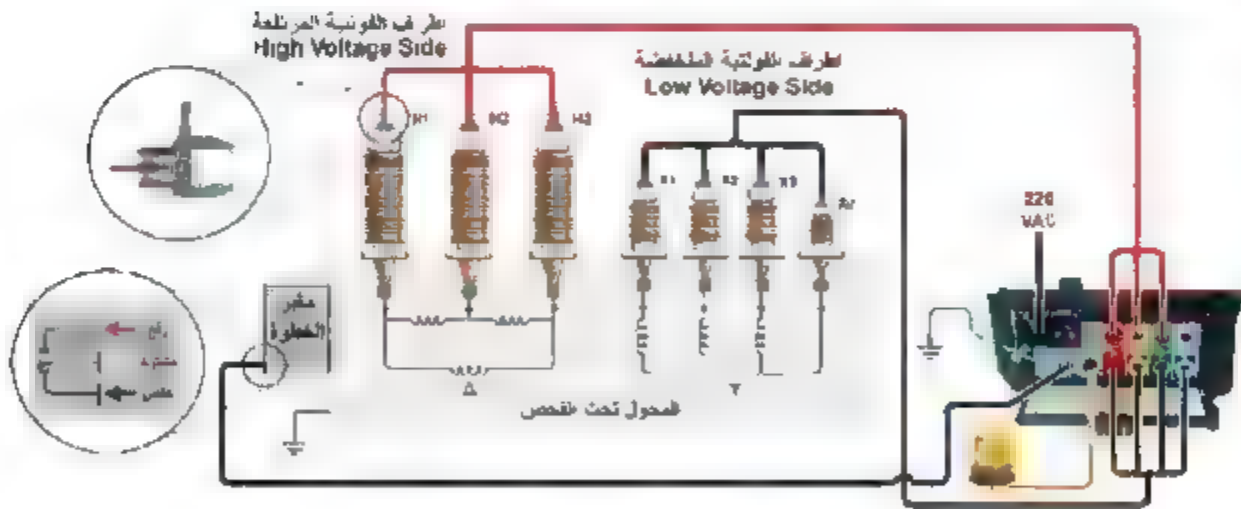
كوابل الإشارة التحذيرية Beacon



كوابل التحكم بمتغير الخطوة

الشكل رقم (4-2-4)

16 توصيل كوابل جهاز المحصر بالمحول وفقاً للتوصيله نفيه بالشكل (4-2-5)



الشكل رقم (4-2-5)

تحذير: يجب التأكد من أن المشابك (Clamps) الخاصة بكوبس المحصر غير المسحومة في توصيلة المحصر غير متصلة بأي المشابك (Clamps) أو الأرضي أو الأشخاص



17. قشعين الجهد بواسطة مفتاح الشعين رقم (3) في الشكل (4-2-3) عن طريق غير وضعيته من (0) إلى (1) الموضحة على المفنح، وملاحظة إباردة اعية الإشره حصراء اىون
- 18 بالبنابة لا بُد من ضبط الإعدادات وذلك بالضغط على كلمة (Settings) من الشاشة الرئيسية لفنية في الشكل (4-2-6)



الشكل رقم (4-2-6)

19. بعد ذاك تظهر الشاشة الفنية في الشكل (4-2-7)، وبني تتيح له ضبط القياسات و حدود لمسموح بها (Measurements and limits) بالإضافة لآليه التحكم بفعلة الخطوة (OLTC Control) وكذلك تتيح له إدخال بيانات المحول المراد فحصه (Transformer Nameplate).



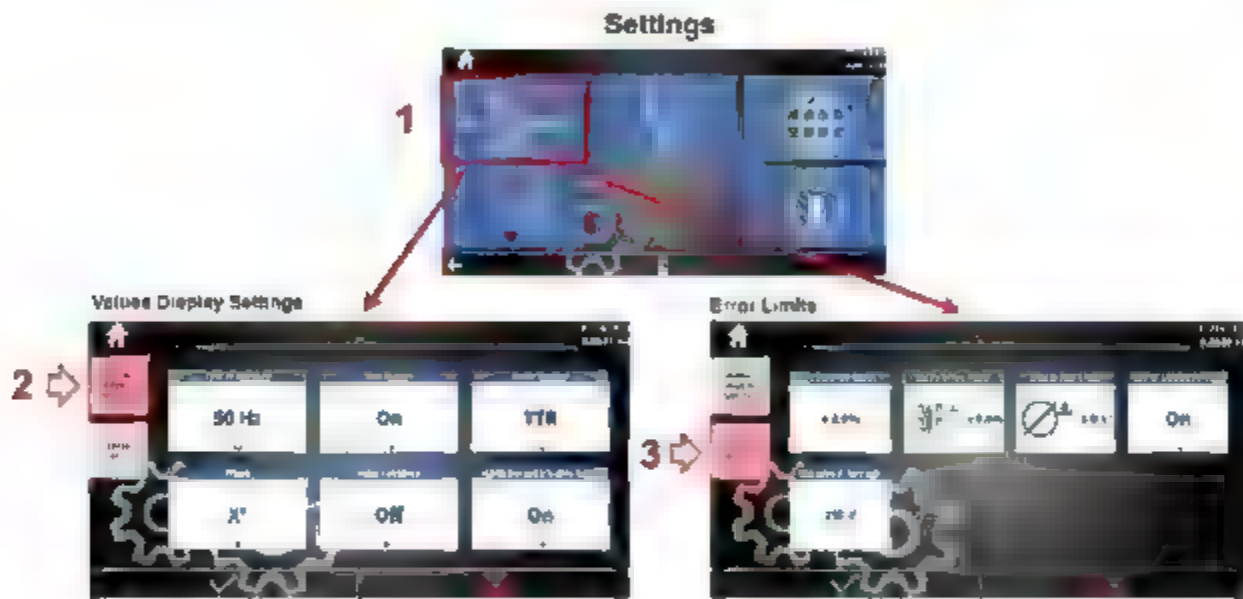
الشكل رقم (4-2-7)

- 20 ولضبط إعدادات القياسات يقوم بالضغط على (Measurements and limits) لتظهر لنا شاشة ذات علامتي تبويب (Values display settings) و (Error Limits) كما هو مبين في الشكل (4-2-8) ومنهما يمكن ضبط التي
- 20.1 تردد الفحص. يتم ضبط التردد على (50Hz) هرتز

20.2 النسبة المعروفة: يتيح هذا الخيار التحكم بنوع النسبة المُستخرجة من الفحص فيما إن كانت (TTR) أو (TNR)، علماً بأنه يُمكن التحكم بها بعد إستخراج تقرير الفحص في حال لم يتم ضبطها مسبقاً من خلال هذا الخيار.

20.3 نسبة الخطأ المسموح بها: يتيح هذا الحذر ضبط نسبة الخطأ المسموح بها فيما يُخضع فحص نسبة عدد القاب، وكما ذكر سابقاً وبالرجوع للمعايير العالمية يجب ضبط هذا الحذر على (0.5%) بالمتة.

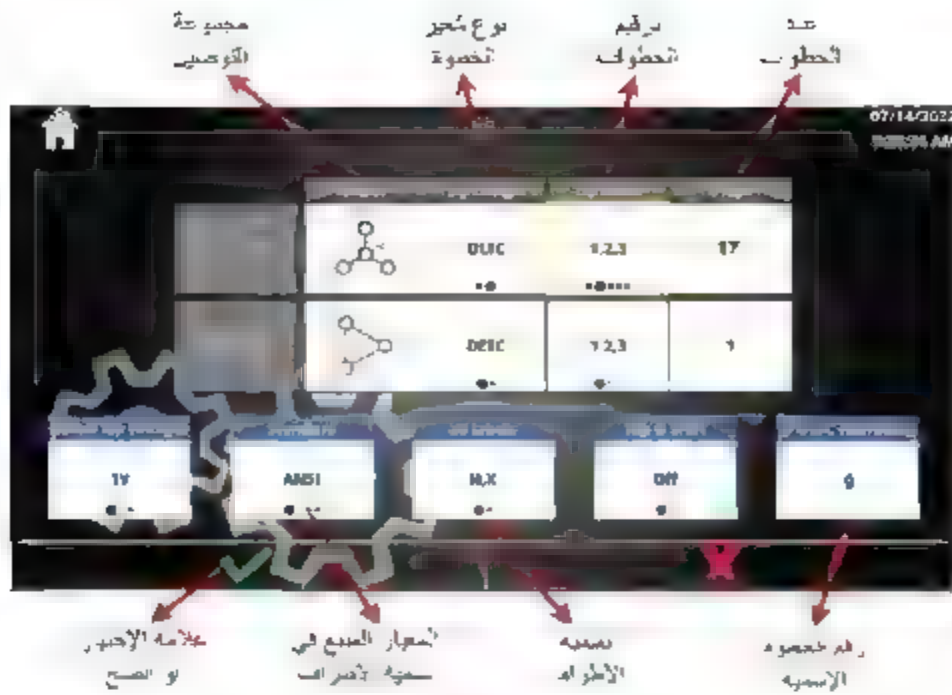
هذه أهم الخيارات التي يتم ضبطها علماً بأنه يوجد خيارات أخرى تُخضع هذه الفحص ومنها ما يُخضع وحوصلات أخرى يتيح عملها هذا الجهاز كفحص تيار التهييج (Excitation Current Test) بالإضافة إلى إستخراج قيمه ال(Phase Deviation)



الشكل رقم (4-2-8)

بعد الإنتهاء من ضبط القيمة السابقة يتم الضغط على علامة الاختيار (الصح) خضراء اللون للتحقق والرجوع شاشة لإعدادات الميينة في الشكل (4-2-7)

21 واضبط تردد المحول يقوم بإختيار (Transformer Nameplate) من شاشة الإعدادات الميينة في شكل (4-2-7) تظهر لنا شاشة لاختياره في الشكل (4-2-9) ثم نقوم بتحديد مجموعته المتوصل (Vector Group) المحول أفراد فحصة بالإضافة لنوع مُعتر خطوه (Tap changer) وعدد احصوات (# Taps) وكذلك تحديد الخطوة المرجعية أو الإسمية (Nominal Tap) ومن ثم نقوم بالضغط على علامة الاختيار (الصح) خضراء اللون للتحقق والرجوع لشاشة لإعدادات



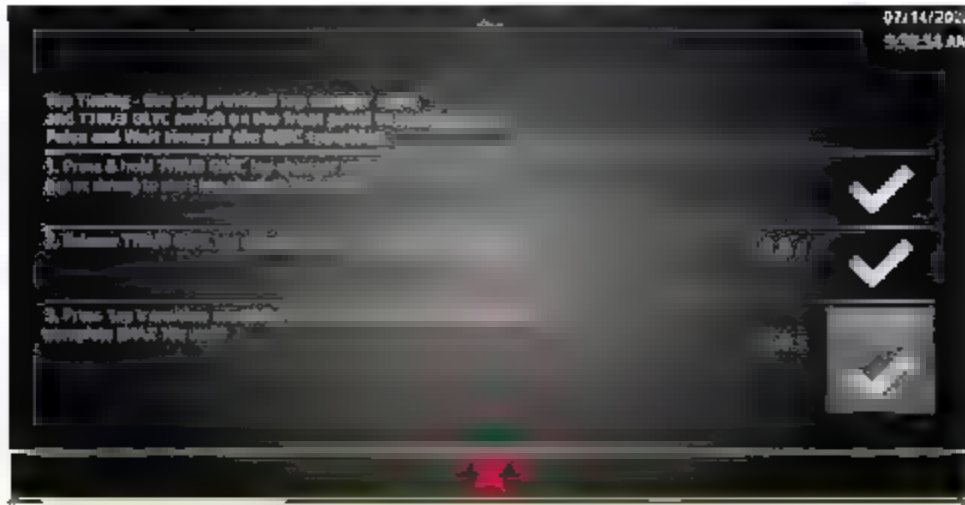
شكل رقم (4-2-9)

22. ولضبط آلية التحكم بمُعيّر الخطوة (OLTC) يقوم بالضغط على خيار (OLTC Control) من شاشة إعدادات (Settings) المُبينه في الشكل (4-2-7) اسبق الانتقال لشاشة الظهيرة في الشكل (4-2-10) ومنها يتم إختيار طريقة التحكم بمُعيّر الخطوة (OLTC) إما إذا كان يدوي (Manual) أو تلقائي (Automatic)، وفي حال إختيار الوضع التلقائي (Automatic) يجب تحديد زمن أمر تغيير لوضعية (Pulse) وزمن الانتقال من خطوة لأخرى (Wait) بالثواني



شكل رقم (4-2-10)


في حال كنت تعلم زمن التندس و زمن أمر التنديل فممكنك إدخاله مباشرة بالضغط على (Pulse) لتحديد زمن أمر التنديل أو بالضغط على (Wait) لإدخال زمن التنديل أما في حال لم تكن تعلم الأرمز السابقة لذكر نعلمك بالضغط على مقياس الزمن (Tap Timing) كما هو مبين في الشكل (4-2-11)



الشكل رقم (4-2-11)

فإن رجوع الشاشة العيبية في الشكل (4-2-11) السابق والتدس زمن أمر التنديل (Pulse) يقوم بتعبير وضعية مُعَيِّر الخطوة (OLTC) وذلك بواسطة المفتاح رقم (17) المبين في الشكل (4.2.2) صعوداً أو نزولاً بالضغط المطول حين بدأ حركة مُعَيِّر الخطوة وبعدها توقف الضغط وذلك يقوم لجهاز بحساب زمن أمر التنديل (Pulse)، وبعد إنتهاء الحركة وإستكمال مُعَيِّر الخطوة من خطوة أخرى يقوم بالضغط على (tap transition complete) وذلك لإحساس زمن التندس (Wait)

كما ويُمكن أيضاً تغيير عتبة (Regional) من شاشة الإعدادات في الشكل (4-2-7) السابق لضبط الترخيص والوقت الخاص بالجهاز بالإضافة لتغيير لغة الجهاز.

وبعد الإنتهاء من ضبط الإعدادات الرئيسية للجهاز يعود بالرجوع شاشة الرئيسية مُسندة شكل (4-2-6) وذلك بالضغط على علامة المنزل أعلى شاشة الإعدادات بمينا  ويُمكننا البدء بإعداد خطة فحص جديدة (New Test Plan)

23 ابدأ إعداد الفحص يقوم بالضغط على خذلة فحص جديدة (New test plan) من الشاشة الرئيسية الفنيه ولشكل (4-2-6) لتظهر لنا الشاشة في الشكل (4-2-12) على علامه تنويث (Nameplate) والتي من خلالها نقوم بتحديد الآتي

23.1 تحديد مجموعه التوصيل (Connection Group) للمحول الفراد فحوصه.

23.2 تحديد نوع مُعَيِّر الخطوة (TC) أما في "محول

23.3 تحديد عدد خطوات مُعَيِّر الخطوة (TC).

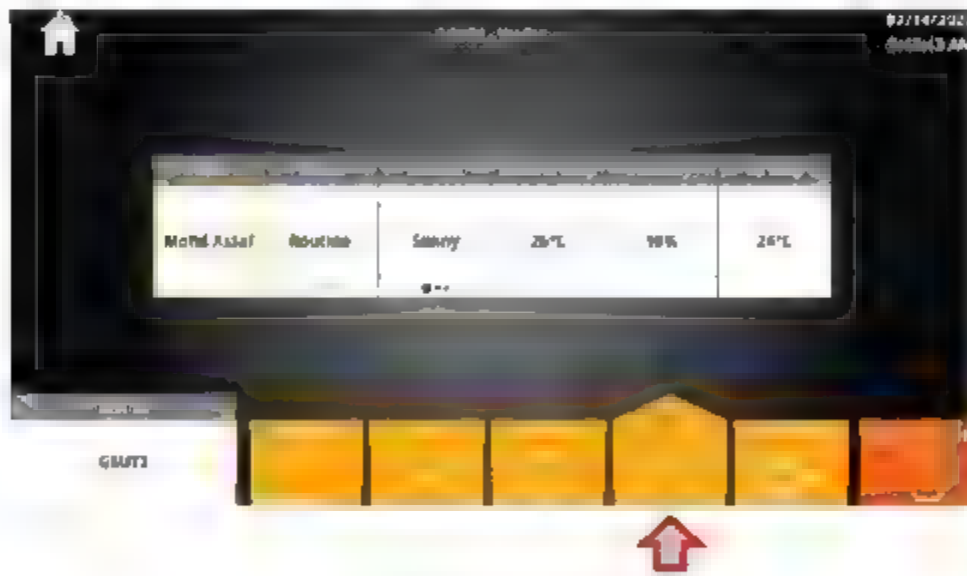
23.4 تحديد الخطوة المرحعية لمُعَيِّر الخطوة (TC)

23.5 تحديد فولتية المنعاب الاسمية بالإضافة لفولتية أول وآخر خطوة



الشكل رقم (4-2-14)

26 لإدخال علامة التنويم (Conditions) والتي من خلالها يتم إدخال اسم الشخص الذي يقوم بالفحص وسبب الفحص حيث إذا كان فحص قبول أو روتيني أو غيره من الأسباب بالإضافة لتطبيق درجة حرارة الجو المحيط والتمطية وكذلك درجة حرارة ربت المحور كما هو موضح في الشكل (4-2-15)



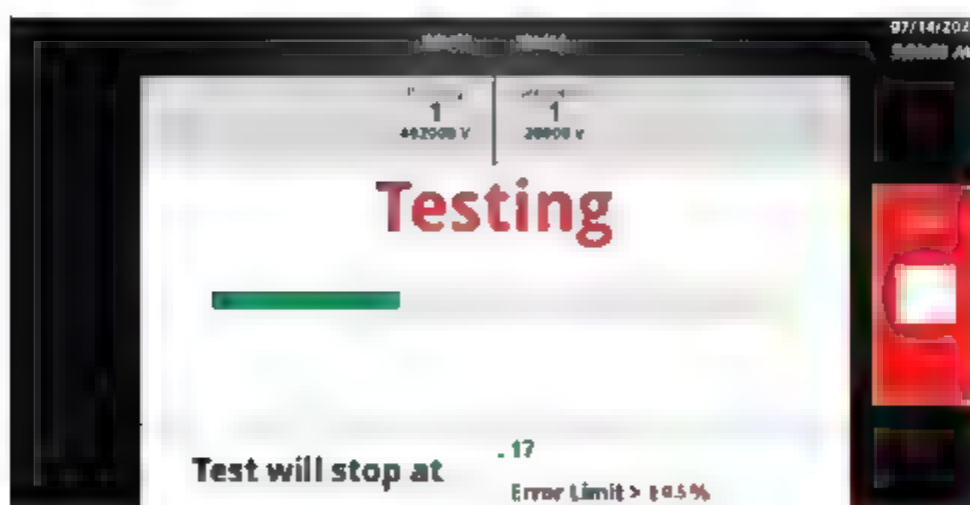
الشكل رقم (4-2-15)

27 يتعلل لعلامة التنويم (Test setup) حيث أنه ستحدد في علامة التنويم هذه أغلب البيانات التي تم إدخالها مسبقاً ويبنى فقط إدخال خطوات مُعيّر الخطوة (TC) عند بداية الفحص وفي حالتنا هذه نقوم بوضع الرقم (1) وأيضاً إدخال خطوة مُعيّر الخطوة (TC) عند نهاية الفحص وفي حالتنا هذه نقوم بوضع الرقم (17) بالإضافة لتمط الفحص (Mode) حيث يتيح لنا إختيار نمط الفحص ثلاثي لصور البصاعدي أو السارلي وأحدثي لطور البصاعدي أو السارلي وفي حالتنا هذه تم إختيار ثلاثي لطور نصاعدي كما وتتيح لنا إختيار قوسية الفحص كما هو موضح في الشكل (4-2-16).



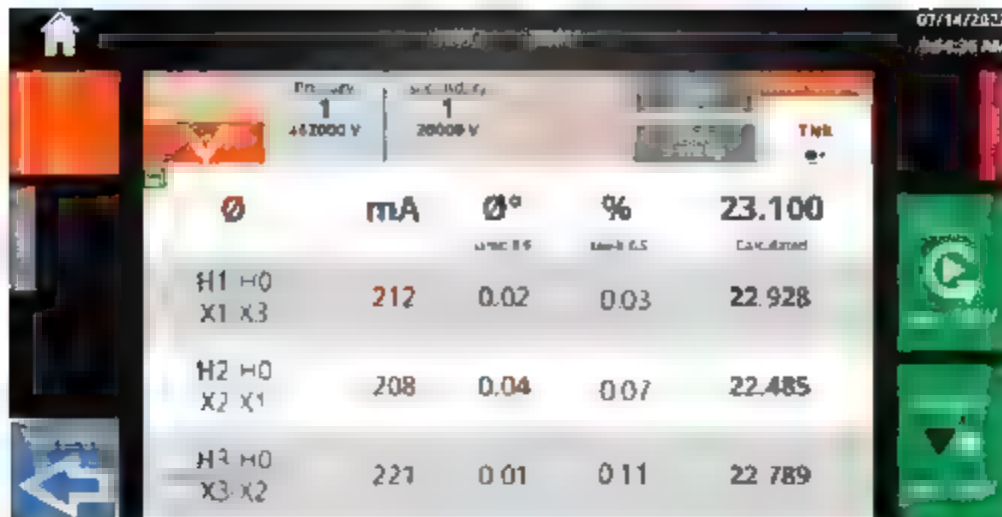
شكل رقم (4-2-16)

28. بعد ذلك يُمكن البدء بالفحص لجميع خطوات المحول بشكل تلقائي بالضغط على زر الفحص (TEST) أخضر اللون لظهور الشاشة الخلفية في شكل (4-2-17) وتبدأ له إشارة حمراء لمبينه بالشكل (4-2-2) بالوميض إشارة بدء الفحص وتطبق العملية بمرور



شكل رقم (4-2-17)

29 عند الانتهاء من فحص يظهر شاشة النتائج المُبنية بالشكل (4-2-18)، حيث يُمكن تغيير النسبة لمُقاسه من (TNR) إلى (TTR) بالضغط على (Ratio Display) بالإضافة إلى إمكانية النقل بين لقطات رؤية نتائج فحص بواسطة الأسهم الظاهرة بالشكل.



الشكل رقم (4-2-18)

كما ويمكن رؤية النتائج على شكل رسم بياني أو جدول بالضغط على زر (View) كما هو مبين في الشكل (4-2-19)



الشكل رقم (4-2-19)

الملحق (3-4)

أحرف حقن الفولتية وفيسه، لأغلب مجموعات التوصيل للمحولات كما ورد في الجدول التفصيلية الحاصلة شركة (MEGGER) وفق المعايير المعهد الأمريكي للمعيار الوطنية (ANSI) فيما يخص تسمية أحرف للمحول، ولتسميات الأخرى يمكن الرجوع الجدول في الملحق (1-1) في نهاية الفصل لأور

Megger.

T-Type Transformers

Table C-1 ANSI Transformer Winding Phase Relationship							
IEC Vector Group	Winding Connection		Primary Winding	Primary Taps	Winding Connection		Calculated Full Load
	High Voltage Winding	Low Voltage Winding			High Voltage Winding	Low Voltage Winding	
TT 0			H1 + H2	A	H1 - H2	X1 - X2	$\frac{V_H}{V_X}$
			X1 - X2	B	H1 - H3	X1 - X3	$\frac{V_H}{V_X}$
T, T 30 lead			H1 - H2	A	H1 - H3	X1 - X2	$\frac{V_H}{V_X} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$
			X1 - X2	B	H2 - H3	X1 - X3	$\frac{V_H}{V_X} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$
T, T 30 lag			H1 + H2	A	H1 - H3	X1 - X2	$\frac{V_H}{V_X} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$
			X1 - X3	B	H2 - H3	X2 - X1	$\frac{V_H}{V_X} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$

Megger.

Table C-2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship									
Diagram No.	Winding Connection	Winding Connection		Phase Shift	Winding Shorted By TTR	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks
		High Voltage Winding (H)	Low Voltage Winding (X)			High Voltage Winding	Low Voltage Winding		
1	1 ph0			0		H ₁ - H ₂	X ₁ - X ₂	$\frac{V_H}{V_X}$	Single phase transformer
2	1 ph6			180°		H ₁ - H ₂	X ₂ - X ₁	$\frac{V_H}{V_X}$	Single phase transformer
3	Yd0			0°	A B C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₀ X ₂ - X ₀ X ₃ - X ₀	$\frac{V_H}{V_X}$	
4	Dd0			0°	A B C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_H}{V_X}$	
5	Yyn0			0°	A B C	H ₁ - H ₀ H ₂ - H ₀ H ₃ - H ₀	X ₁ - X ₀ X ₂ - X ₀ X ₃ - X ₀	$\frac{V_H}{V_X}$	Neutral accessible on both windings
6	Dyn0			0°	A B C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₁ - X ₀ X ₂ - X ₀ X ₃ - X ₀	$\frac{V_H}{V_X}$	Neutral accessible on low voltage winding
7	YNyn0			0°	A B C	H ₁ - H ₀ H ₂ - H ₀ H ₃ - H ₀	X ₁ - X ₀ X ₂ - X ₀ X ₃ - X ₀	$\frac{V_H}{V_X}$	Neutral accessible on both windings

Table C-2 ANSI Transformer Winding Phase Relationship									
Copper 2000 MVA									
Data No.	E-CT Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Shifted By TTR	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks
		High-Voltage Winding (H)	Low-Voltage Winding (X)			High-Voltage Winding	Low-Voltage Winding		
8	YNyn0			A B		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H}{V_X}$	Neutral accessible both ways windings
9	YNd1			A B		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H}{V_X \cdot \sqrt{3}}$	Neutral accessible on one winding
10	YNd0			A B		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H}{V_X \cdot \sqrt{3}}$	Neutral accessible on one winding
11	Dy1			A B	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	No accessible neutral on one winding
12	Dyn0			A B		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Neutral accessible on one winding
13	DyΔ			A B C	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₀ X ₁ X ₁ X ₂ X ₂ X ₀	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	No accessible neutral on one winding

Table C-2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship

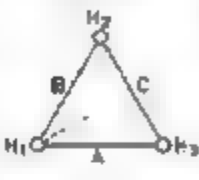
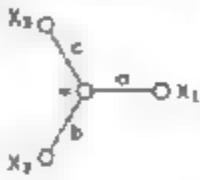
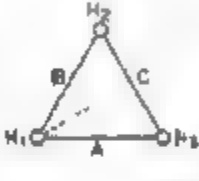
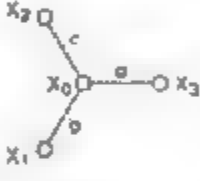
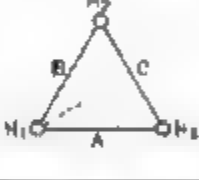
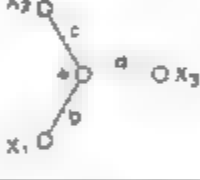
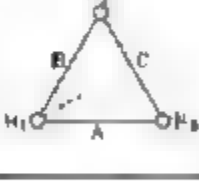
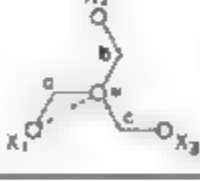
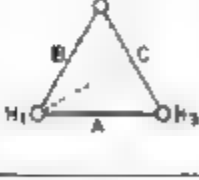

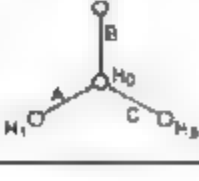
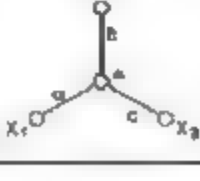
Diagram No.	EC Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Stated By TTR	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks
		High-Voltage Winding (H)	Low-Voltage Winding (X)			High-Voltage Winding	Low-Voltage Winding		
14	Dy7			A E C	I_1 I_2 I_1 H_1 I_1 H_1	I_1 (H_1 H_2) I_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_1 X_2 X_2 X_3 X_3	$\frac{V_1 + \sqrt{3}}{V_K}$	accessible neutral on wye winding
5	Dyn11			A B C	I_1 I_2 I_1 H_1 I_1 H_1	I_1 (H_1 H_2) I_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_1 X_2 X_2 X_3 X_3	$\frac{V_1 + \sqrt{3}}{V_K}$	Neutral accessible on wye winding
10	Dyn11			A B C	I_1 H_2 I_1 H_1 I_1 H_1	H_1 (H_1 H_2) H_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_3 X_2 X_1 X_3 X_2	$\frac{V_1 + \sqrt{3}}{V_K}$	No accessible neutral on wye winding
7	Dz0			A=C B=A C=B	I_1 I_2 I_1 H_1 I_1 H_1	I_1 (H_1 H_2) I_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_3 X_2 X_1 X_3 X_2	$\frac{V_1}{V_K}$	No accessible neutral
18	Dz0			A=C B=A C=B	I_1 H_1 I_1 H_1 I_1 H_1	H_1 (H_1 H_2) H_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_1 X_2 X_2 X_3 X_3	$\frac{V_1}{V_K}$	No accessible neutral
19	YNyn0			A E C	I_1 H_1 I_2 H_1 I_1 H_1	H_1 (H_1 H_2) H_2 (H_1 H_2) H_3 (H_2 H_1)	X_1 X_1 X_2 X_1 X_3 X_1	$\frac{V_1}{V_K}$	No accessible neutral on low voltage winding

Table C-2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship

Tag No.	Vec. Vector group	Winding connection		Phase sequence	Winding connected to LLT	Winding tested		Measured on volts	Remarks
		High-voltage Winding (H)	Low-voltage Winding (X)			High-voltage Winding	Low-voltage Winding		
20	Yyn0			A B C		$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on high-voltage winding
21	Yy0			A E C		$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on both wye windings
22	YNyn6			A E C	$\begin{matrix} H_2 & 1_1 \\ H_1 & 4_1 \\ H_3 & 7_1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on low-voltage winding
23	Yyn0			A-C B-A E-B		$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on high-voltage winding
24	Yy6			A-H B-A C-B		$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on both wye windings
25	Yzn1			A B C		$\begin{matrix} 1_1 & 1_2 \\ 4_1 & 4_2 \\ 7_1 & 7_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \\ X_5 & X_6 \end{matrix}$	$\frac{V_H \sqrt{3}}{V_X}$	No accessible neutral on wye winding

Megger.

Table C-2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship								
Copyright 1992 Megger								
Diagram No.	IEC Vector Group	Winding Connection		Phase Shifted By °	Winding Shifted By °	Winding Test-d		Remarks
		High Voltage (Winding 1)	Low Voltage (Winding 2)			High Voltage Winding	Low Voltage Winding	
26	Yz1			A+B B-C C-A	120 120 120	H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral
27	Ym0			A B C		H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral on wye winding
28	Yz0			A+B B-C C-A	120 120 120	H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral
29	Yzn1			A B C		H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral on wye winding
30	Yz1			A+B B-C C-A	120 120 120	H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral
31	Yzn1			A B C		H1-H2 H2-H3 H3-H1	X1-X2 X2-X3 X3-X1	No accessible neutral on wye winding

Table C 2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship

Copyright © IEC - Megger										
Diagram No.	IFR Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Shift By T.T.R.	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks	
		High-Voltage Winding (H ₁)	Low-voltage Winding (X ₁)			High-Voltage Winding	Low-Voltage Winding			
20	Yyn0			A=C B=A E=B		H ₁ H ₂ L ₁ L ₂ H ₃ H ₆	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on high-voltage winding	
2	Yy0			A B C		H ₁ H ₂ H ₃ H ₄ H ₅ H ₆	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral if both wye wdg's	
22	YNy0			A B C		H ₁ H ₂ H ₃ H ₄ H ₅ H ₆	H ₄ -(H ₅ -H ₆) H ₂ -(H ₃ H ₄) H ₁ -(H ₅ -H ₆)	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on low-voltage winding
23	Yyn6			A=C B=A E=B		H ₁ H ₂ H ₃ H ₄ H ₅ H ₆	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on high-voltage winding	
24	Yy6			A=C B=A E=B		H ₁ H ₂ H ₃ H ₄ H ₅ H ₆	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H}{V_X}$	No accessible neutral on both wdg's	
25	Yzn1			A B C		H ₁ H ₂ L ₁ H ₃ H ₄ H ₅	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ X ₅ X ₆	$\frac{V_H \pm \sqrt{3}}{V_X}$	No accessible neutral on wye winding	

Megger.

Table C-2. ANSI Transformer Winding Phase Relationship

Diagram No.	IFC Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Shifted by 180°	Winding Tested		Measured ratio	Remarks
		High-Voltage Winding (H)	Low-Voltage Winding (X)			High-Voltage Winding	Low-Voltage Winding		
30	YNdy			A B C		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_L}{V_H} = \sqrt{3}$	Neutral accessible on wye winding
30	Yd0			A B C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	H ₁ - (H ₂ + H ₃) H ₂ - (H ₁ + H ₃) H ₃ - (H ₁ + H ₂)	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_L}{V_H} = \frac{1.5}{\sqrt{3}}$	No accessible neutral on wye winding
40	Yd7			A U C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	H ₁ - (H ₂ + H ₃) H ₂ - (H ₁ + H ₃) H ₃ - (H ₁ + H ₂)	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_L}{V_H} = \frac{1.5}{\sqrt{3}}$	No accessible neutral on wye winding
4	YNd11			A B C		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_L}{V_H} = \sqrt{3}$	Neutral accessible on wye winding
42	Yd11			A B C	H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	H ₁ - (H ₂ + H ₃) H ₂ - (H ₁ + H ₃) H ₃ - (H ₁ + H ₂)	X ₁ - X ₂ X ₂ - X ₃ X ₃ - X ₁	$\frac{V_L}{V_H} = \frac{1.5}{\sqrt{3}}$	No accessible neutral on wye winding

Table C-2 ANSI Transformer Winding Phase Relationship									
Copyright 1999 Megger									
Data No.	B-C Vector Group	Winding Connection		Phase Tested	Winding Shifted By T ₃	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks
		High-Voltage Winding (H)	Low-Voltage Winding (X)			H-Voltage Winding	Low-Voltage Winding		
43	VREG			1	-	S-SL	L-SL	$\frac{V_H}{V_X}$	
44	Dyn3			A B C		H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₂ - X ₁ X ₁ - X ₃ X ₃ - X ₂	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Nothing is possible on this winding
45	YN0			A B C		H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	(H ₁ - H ₂) - (X ₁ - X ₂) (H ₂ - H ₃) - (X ₂ - X ₃) (H ₃ - H ₁) - (X ₃ - X ₁)	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Not accessible on this winding
46	Dyn0			A B C		H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₂ - X ₁ X ₁ - X ₃ X ₃ - X ₂	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Nothing is possible on this winding
47	Dyn9			A B C		H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	(H ₁ - H ₂) - (X ₂ - X ₁) (H ₂ - H ₃) - (X ₁ - X ₃) (H ₃ - H ₁) - (X ₃ - X ₂)	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Nothing is possible on this winding
48	YNzn1			A B C		H ₁ - H ₂ H ₂ - H ₃ H ₃ - H ₁	X ₂ - X ₁ X ₁ - X ₃ X ₃ - X ₂	$\frac{V_H \cdot \sqrt{3}}{V_X}$	Nothing is possible on this winding

Table C-2 ANSI Transformer Winding Phase Relationship									
Copyright © 1999 Megger									
Diagram No.	IEC Vector Group	Winding Connection		Phase Shift	Winding Shorted by TTR	Winding Tested		Measured Turn Ratio	Remarks
		High-Voltage Winding (+)	Low-Voltage Winding (+)			High Voltage Winding	Low Voltage Winding		
49	YNzn7			A B C		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1 + \sqrt{3}}{V_2}$	Neutral accessible on wye winding
50	YNzn7-1			A B C		H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1 + \sqrt{3}}{V_2}$	Neutral accessible on wye winding
51	YNd3			A B C	—	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1}{V_2 + \sqrt{3}}$	Neutral accessible on wye winding
52	YNd3B			A B C	—	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1}{V_2 + \sqrt{3}}$	Neutral accessible on wye winding
53	Yd3			A B C	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	1-1 → 1-1 2-2 → 2-2 3-3 → 3-3	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1 + 1}{V_2 + \sqrt{3}}$	No neutral accessible on wye winding
54	Yd3B			A B C	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	1-1 → 1-1 2-2 → 2-2 3-3 → 3-3	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1 + 1}{V_2 + \sqrt{3}}$	No neutral accessible on wye winding
55	YNynZ			A B C	—	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1}{V_2}$	Neutral accessible both wye windings
56	YNynB			A B C	—	H ₁ H ₂ H ₂ H ₃ H ₃ H ₁	X ₁ X ₂ X ₂ X ₃ X ₃ X ₁	$\frac{V_1}{V_2}$	Neutral accessible both wye windings

الفصل الخامس

فحص معامل التبديد/القدرة و المواسعة

Dissipation/Power Factor & Capacitance
test ($\tan\delta$ - PF)



فحص معامل التبديد/القدرة والمواسعة

Dissipation/Power Factor & Capacitance test (Tanδ - PF)

تُعتبر المادة العازلة في المحوّل من مكونات المحوّل لأكثر أهمية لها من تأثير على أمن وموثوقيته عمر المحوّل وما ينعكس عن ذلك من تأثير على موثوقيته لشبكة الكهرباء ككل، كما وأن العمر التشغيلي للمحوّل يُعتبر سبباً أحاطه المادة العازلة داخله، لذلك لا بُد من الكشف عن حالة هذه المادة عازلة من فترة لأخرى وذلك لتأكيد من سلامة المحوّل وتتنوع بصادمه لتبريحي المُتعارف مع تقدم المادة العازلة

لذلك يُعتبر فحص معامل التبديد/القدرة عند التردد الإسمي من الفحوصات المهمة في هذه الشأن، حيث أنه يهدف إلى معرفة مدى جودة وكفاءة العزل الكهربائي لمكونات المحوّل ويعوّل لإخترق أو كما تُسمى بـ (Bushings) بشكل عام، كما ويُتخذ من المادة العازلة عند الحدوث عن المحولات جميع مكونات نظام العزل والتي تضم الزيت و العزل الصلب والذهب وألوانه المختلفة بالإضافة للعزل الخاص بعوّل الإحتراق كالبورسلان وغيره من مواد العزل للمحوّل.

ويُكسر ونسبة هذا الفحص بشكل مُبسّط في قياس نسبة الطاقة الصاعدة في المادة العازلة إلى الطاقة الكلية المُطبقة عليها أو ما يُسمى بـ سائر العزل (Dielectric Loss)، ويُمكن التعبير عنها بنسبة مئوية من (بمئة) إلى (100%)، حيث أنّ العزل الجيد يُلْزِم الصغر على أن المادة العازلة بطبيعتها ودأبها ولاحتوي على فجوات، بالإضافة إلى أنها حالية من أية دلائل على أنها غير قادرة على القيام بوظيفتها الأساسية وهي تأمين العزل المتصوّب بين أجزاء المحوّل الفعالة المختلفة كما وتُحذّر الإشارة إلى أن هذا الفحص لا يُعتبر من فحوصات (go-no-go tests) أي أن مجردانه لا يكون على شكله (1 - 0) أو (ناجح - راسب) وإنما تكون على شكل تدرج متوحي كما ذُكر سابقاً من خلاله يتم تحديد حالة مادة العازلة ودرجة تدهورها

ثم يستخدم فحص معامل القدرة (Power Factor - PF) لأوّل مرّة في أوّل القرن الماضي (1900's) من قبل مُصنّعي الكوئل وتم استخدامه في مجال فحص عوّل، يخترق محولات (Bushings) من عام (1929)، أما فيما يخص فحص معامل التبديد (Dissipation Factor - DF) فإنه يعتمد على قنطرة شارب (Schering bridge) التي تم تطويرها في أوائل القرن الماضي (1900's) لتقديم حالة المادة العازلة بواسطة فصل مُركّبي تيار المُشحن السعويّة (Capacitive) ولهادية (Resistive) للسادة العازلة.

إن فحص معامل التبديد/القدرة يتم بتطبيق فولتية مترددة (AC) قد تصل لـ (10kV) كيلوفولت ذات تردد مساوٍ للتردد التشغيلي للمحوّل (50Hz) هرتز، وذلك بصدا معرفة سلوك المادة العازلة أثناء عمر المحوّل بشكل طبيعي وتعرضه لفولتية التردد التشغيلي، كما وتُحذّر الإشارة إلى أن هذا الفحص من الفحوصات التي لا تعتمد على الزمن كالفحوصات الفولتية ثابته (DC) ساعة التكرار. وبما أن مصدر فولتية الفحص أقل من قيمة الفولتية الإسمية الخاصة بالمحوّل فإن هذا الفحص يُعتبر من فحوصات غير التدميرية (Non-destructive test) أي أنه لا يُؤثّر على سلامة العزل للمحوّل

وهي تبدأ عمليه قياس معامل التقدير / القدرة يتم استخراج قيمه امواسعه والتي تُعد من القيم المهمه لتي من خلالها يتم الكشف عن الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للمحول، لذلك يمكن ملاحظة أن هذا الفحص يتطلب على فحصين أولهما هو فحص معامل الممتد / القدرة و ثانيهما هو فحص امواسعه

وكم ذكر سابقاً فإن سلامه أي محول تنحصر في سلامه ثلاثه أضفه داخليه للمحول وهي نظام العزل والنظام الميكانيكي والنظام الحراري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل للمحول بالكامل، وهذا الفحص يمكن من الكشف عن سلامه نظام العزل و سيعتبر إضافة إلى الكشف عن سلامه النظام الميكانيكي كما سيتم شرحه لاحقاً

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفعنا لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني للاباكد من سلامه محمول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحول (وهو مجال بحثنا في هذا الكتاب) أو لأسباب خاصه أخرى، وتتلخص هذه الأسباب بالآتي.

1.1 في مصنع لصنط لوحده مصبغيه (Quality Control - QC) وكذلك يُعتبر من فحوصات القبول لمصبغيه (Factory Acceptance Test - FAT) للاباكد من سلامه المحول ومطابقته للمصمم قبل نقله لموقع

1.2 في الموقع قبل كثره المحول لمرّة الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات القبول موقعية (Site Acceptance Test - SAT) للاباكد من سلامه المحول بعد نقله وتركيبه في الموقع

1.3 قبل كثره المحول (Transformer energization) بعد عماليت الصيانه المختلفه في الموقع

1.4 بشكل روتيني (Routine test) وذلك للكشف عن وضع المحول الحالي واستحاطم تدرجه هذا لفحص كمرجع (Reference value).

1.5 تحديد الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم ساوله في هذا الفصل

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

كما هو معلوم أن هذا الفحص يهدف للكشف عن حالة هذه الوحدة لعزلته (PF/DF) بالإضافة لحاله قلب الحديد والمغناطيس المبراثمة (Capacitance)، لذلك عادة ما يتم اللجوء لعمل هذا الفحص بهدف تشخيصي في حال تعرّض المحول لظروف أو أحداث قد تؤدي لحدوث الإجهاد الميكانيكي لواقع على مغناطيس قلب المحول الحديدي وما يترتب عليه من انفصال ميكانيكية أو كهربائية للمحول، وعلى سبيل المثال لا ينحصر يمكن إيجاد الأمور التاليه

- ظهور نتائج غير مُرضية الفحص نسبة محتويات الماء في زيت المحول (Water content test)
- تعرّض المحول لإجهاد ميكانيكي ناتج عن عطل كهربائي مثل الأعطال لأرضيه (Earth faults) أو أعطال القصر (Short circuit) أو ضربات البرق (Lightning) وي ينتج عنها من تيارات ذات قيم مُرتفعة، أو تعرّض المحول لتيارات بدء (تدفق) مُرتفعة (High inrush currents)
- تعرّض المحول لفحص قسري (Trip) نتيجة لتفعل مُرحلBuchholz relay) أو مُرحل ارتفاع الضغط الحفّاجي (Sudden pressure relay) أو غيره من أحماليات القبر. ثم
- قراءات غير جيدة جهاز سحب صدمات (Impact recorder)، حيث أن هذه الجهاز يتم تثبيته على جسم المحول أثناء عمله لتفاد من عدم تعرّض المحول لصددمات فوق الحدود المسموح بها كتهرضه لصدمة ميكانيكية كبيرة كالسقوط أثناء عملية النقل
- إجهاد المرحل من الزلازل أو غيره من الكوارث الطبيعية والتي قد تُجق صراً ميكانيكياً بالمحول

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص:

- فحص معامل التبديد/القدرة (Dissipation/Power Factor DF&PF)
 - ✓ محول ذو عزل رطب (Wet/Moist insulation).
 - ✓ محول ذو عزل مُتدهور نتيجة لتكربن أو الكربس (Carbonization)
 - ✓ محول ذو زيت مؤكسد أو ملوث بالجزيئات أو الحمض أو الماء.
 - ✓ وجود تفرغ حرثي أو نقاط توصيل رديئة لعزل غيري المحول (Bad contact on Bushing test tap and partial discharge)
 - ✓ وجود تشققات في عوازل إختراق المحول (Bushings)
 - ✓ فقدان الزيت داخل عوازل إختراق المحول (Bushings)
 - ✓ قصر في (Condenser) عازل غيري المحول (Bushings) أو انهيار في ديمفيتها الداخلية.
 - ✓ وجود كورون في عوازل إختراق المحول (Bushings)

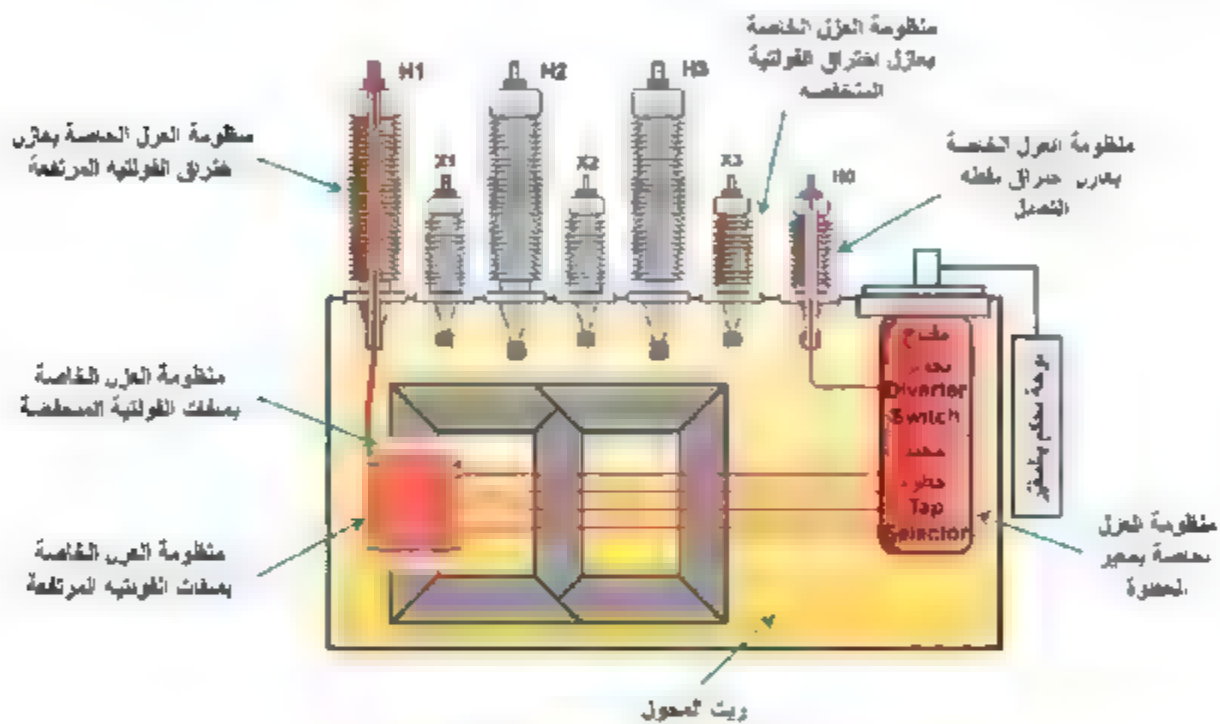
• فحص المواسعة (Capacitance)

- ✓ قياس المواسعة بين الملفات (Winding to winding) يُمكن من الكشف عن وجود أي تعثر في الخصائص الكهربائية والهندسية لهذه الملفات، أي بمعنى آخر أنها تكشف عن وجود تعثر على موقع هذه الملفات كاختلاف المسافة الفاصلة فيما بينها نتيجة لتعرضها لإجهاد ميكانيكي كالصددمات أو مرور تيار عطل مرتفع خلال هذه الملفات
- ✓ قياس المواسعة بين الملفات والأرضي (Winding to ground) يُمكن من الكشف عن أنه تعثر على مسافة الفاصلة بين الملفات والأرضي نتيجة لتعرضها لإجهاد ميكانيكي كالصددمات أو مرور تيار عطل مرتفع خلال هذه الملفات.
- ✓ قياس المواسعة بين القلب الحديدي والأرضي (Core to ground) يُمكن من الكشف عن أي تعثر لموقع القلب الحديدي بالنسبة لبحران الأرضي نتيجة لتعرضه لإجهاد ميكانيكي

✓ قياس المواسعة الخاصة بعوارل بخمق العولنية المربعة (High voltage bushings) نمك
من الكشف عن وجود بهيار أو قصر (Short circuit) بين صيفب الألميود الصكوة لهذا النوع
من العوارل (Bushing).

وبشكل عام فإن فحص الموسعة يُمكن من الكشف عن وجود تغيرات فريدة (ميكانيكية) بلقالب
الحديدي و **ملفوفة**، كما ويُعتبر هذا الفحص أكثر حساسية في كشف عن التشوه الشعاعي /التطري
(Radial deformation) لمبيعات أكثر من غيره من التشوهات التي قد طرأ للمبيعات المصنوعة

وبين الشكل (5-1) مثال على سطوة العرّ التي تم اختيارها من خلال هذا اعص لمحاولات ثلاثة
الطور ثمانية الملفات.



الشكل رقم (5-1)

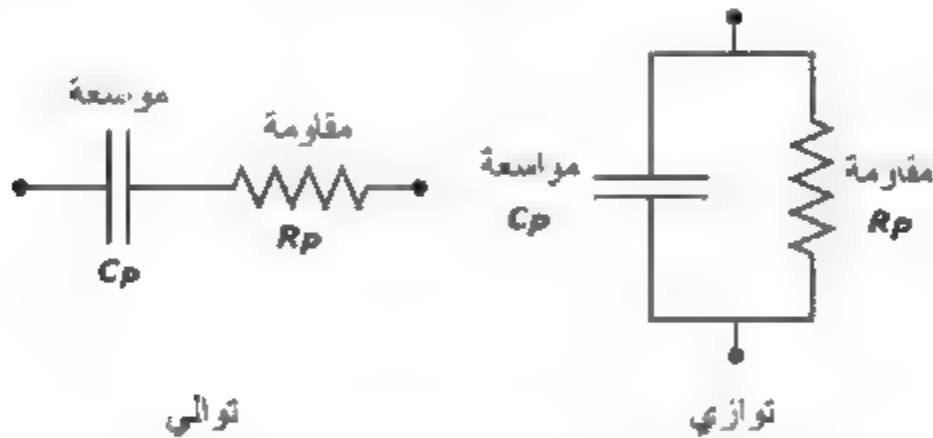
3. فلسفة الفحص

تكون المادة لدرجة قدره على إعطاء عدد كهربائي أقصى عندما تكون نظيفة وحافة ولا تحتوي على شوائب، وكذا أن عند مدغم جسم حدود درجات الحرارة المسموح بها لهذه المادة حارة، أمّا أن يمكن للمواد أن تكون أيضا مادة لدرجة الأساسيين هي الحرارة والرطوبة والأوكسجين.

فعند تولّد لمادة العبرة فإن لتيار التسري المادي (I_r - Current Resistive Component) امار من خلا ي يرداد شحنة اربده موضيتها كهروناثة، والذي بدوره يرب من قيمة حماية اصائعة في لعاب ولي تكون على شكل حرارة. وعسما تكون الصادة الصائعة في العال كبر من الطاقة اصائعة في هذ العال فيه يندأ يلف وترد : الصفة اصائعة أكثر فأكثر مما يرب من قيمة معامل القدرة لهذه الصادة عمثلاً لو فترصد بتطبيق فولتية معبرها (10kV) على مددة عازلة وكان التيار تسري المادي حر هذه الصادة العبرة

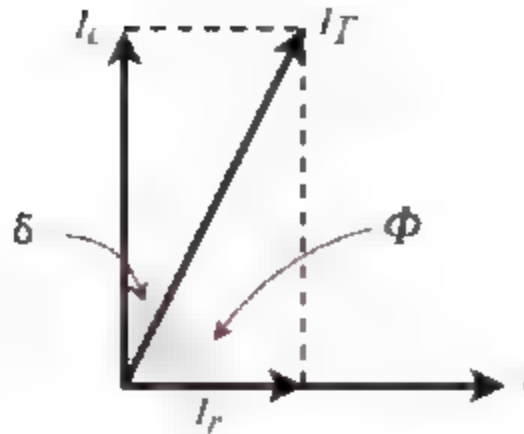
مسبو (2mA) فإن الطاقة المُبددة أو الصائغة في هذه المادة العازلة على شكل حرارة سيسوي (20Wh) واط-ساعة أي ما مقدره (72kJ) كيلوحواء، حيث أن هذه الحرارة تعص على إصعاف عازلة وإستهلاكها مع الزمن مما يربط من قيمه أنسار التسري ويزيد من الحرارة المُبددة في العازل أكثر وأكثر مؤدياً لتفقه لذلك يُمكن القول أن ارتفاع قيمه معامل القدرة للمدة العازلة يُعتبر من لآذله اقويه على وجود صف في هذه المادة العازلة.

سأأ على ما سبق و نتيجة لإعسار أماده العازلة بحرة لطافة وكذلك بالرجوع الى تعريف لمدة العازلة حسب معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) على أنها مادة تامل عزل كهربائي من حرتين مختلفين دالوائتية، حيث أن مصطلح (العزل الكهربائي) أو رد في التعريف السابق عني أن لتيار التسري (I_p) لمر من خلال هذه المادة عازلة بطرماً مساوٍ للصفر (Zero Conductivity – Zero Absorption)، لذلك يُمكن تمثيل مادة العزلة المثلية (عديمه الصبغات) عن طريق المواسعة الكهربائية فقط، وكما هو معلوم وبصراً لصعوبه وجود مادة عازلة مثالية وذلك بسبب الردلوه و أموشات وقطليه جريئات مادة العزلة المتأصلة، فعادة ما يتم تمثيل أماده العازلة بمواسعة كهربائية كما سبق و احي تمثيل خصائص مادة لعزلة الكهربائية وهندسيها، بالإضافة لمقاومة كهربائية موصولة على حوالي أو عرزي والتي تُشكل مُركبة لصبغات لهذه المادة العازلة أو كما تُسمى بحسائر العزل (Dielectric Loss) كما هو مبين بالشكل (5-2) حيث سيتم بحث دالو سعة الموصولة على التوزي مع امقاومة الكهربائية كدائرة مكافئة للمادة العزلة أثناء الشرح



الشكل رقم (2-5)

كما هو معلوم فإنه عند تعسق فولتية متردد (AC) على المادة العازلة تفوق هذه لمدة عازلة تسحب تيار شحن (Charging current) مكون من مُركبتين لأولى سعوية (Capacitive) والثانية مادية (Resistive) بحيث تكون مركبة تيار شحن 'سعوية' مُتقدمة على الفولتية المُطبقة بمقدار (90°) درجة وتكون مركبة تيار الشحن لمدية متطابقة سحياً (In-phase) مع الفولتية المُطبقة كما يظهر بالشكل (5-3)



الشكل رقم (3-5)

• مركبة التيار الشعوية – Capacitive current component

يُمثل هذا التيار الطاقة المخزنة في المادة العازلة ويناسب قيمته طردياً مع العزلية المُطبقة على المادة لعرضه وذو اتجاه العزم لهذه المادة العازلة (Dielectric constant) وكذا ذلك مساحة سطح المادة العازلة، وتتناسب عكسياً مع سمكها، مادة العازلة كما ويُمكن حساب قيمة هذا تيار شعوي بتطبيق المعادلة (5.2) التالية

$$I_C = \frac{E}{X_C} = E\omega C \quad (5.1)$$

$$I_C = E2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{A}{d} \right) \quad (5.2)$$

حيث:

E : فولتية المُطبقة على المادة العازلة

f : التردد.

ϵ_0 : ثابت العزل للفراغ ($0.08854 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$)

ϵ_r : ثابت العزل للمادة العازلة.

A : المساحة.

d : سماكة المادة العازلة.

ومنه فإن أي تغيّر في قيمة تيار الشحن الشعوي يُعد دليلاً على تدهور مادة العازلة نتيجة ارتطوبتها المرئية (wetness) أو وجود طبقات مغمورة (Shorted layers) أو حدوث إختلاف في أبعاد مادة العازلة الهندسية.

• مركبة التيار المادية – Resistive current component

يُمثل هذا تيار التسرب من خلال المادة العازلة لطاقتها الضائعة أو ما يُسمى بحسائر عازل (Dielectric Losses)، وعندها ما يكون ناتج عن ظواهر مختلفة كظاهرة الكورون أو تيار سطحي التسرب أو

ا (Carbon tracking) أو (Volumetric leakage)، وكما يظهر بالرسم المنحني الظاهر في الشكل (5-3) يمكن ملاحظته أن هذا التيار الحادي يكون مطبق منجهاً (in-phase) مع اعوية الخطيقة، وكما كانت قيمته هذا تيار الحادي مرتفعة كلما كانت قيمة الطافة أصابعه خلال هذه لمدة اعارله مرتفعة، لسك يتم الإعتم ذ عبیه في هذا الفحص للكشف عن حالة اعادة العربة ودرجة سوئها

بدءاً على ما سبق فن خسائر اعرال (Dielectric Losses) قد تكون سببه عن طاهرة لكوروس وفي هذه لحالة فإنها تزداد بشكل أسي (Exponentially) موداة الفواسفة الخصيفة، أو قد تكون سببه عن اسلوٹ ولاء أو (Carbon tracking) وفي هذه الحالة فإنها تزداد سباعاً أفرع السواسیه الخطئیه

• ويبقى التساؤل المطروح "ما هو معامل القدرة (Power Factor CosPhi - PF)؟ وما هو معامل التبدید (Dissipation Factor TanDelta - DF)؟ وما هي المواسعة (Capacitance)؟"

○ معامل القدرة (Power factor - PF) أو كما يسمى (CosPhi - Cosφ)

عرفت الملحفة الكهروتنقية الدولية (IEC) معامل القدرة (PF) على أنه نسبة القدرة بفعالة (Active power) للمنتصه من قبل المادة اعراله إلى القدرة غير الفعالة المظلفة (Reactive power)، وهذا لتعريف يصف أيضاً معامل التبدید (DF)

كما وعرفت معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) معامل اعراله (PF) المادة اعراله على أنه نسبة القدرة المنددة في المادة اعراله بوحدة الواط (Watt) إلى حاصل ضرب اعرالیه افعاله بانتيار أو ما يسمى بالقدرة الظاهريه (Apparent power) بوحدة اعرال أمير (VA) كما يظهر بالمعادلات التالية:

$$PF = \text{Active Power (watt)} / \text{Apparent Power (VA)} \quad (5.3)$$

$$= \frac{I_r}{I_T} = \frac{1}{\sqrt{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_p \cdot C_p)}} = \text{Cos}(\varphi) \quad (5.4)$$

يمكن ملاحظته من المعادلات السابقة أن معامل القدرة (PF) مساوٍ للنسبة بين التيار الحادي (I_r) و تيار الحكي لمارب دائرة المكافئة للمادة اعراله (I_T) وهو حاصل مجموع تيارى المقارمه واسو سعه، بدءاً على ذلك فإن معامل القدرة (PF) ما هو إلا جيب تمام الزوية ($\text{Cos } \varphi$) الفصيلة بين التيار الحكي و اعرالیه الخطئیه كما هو موضح بالرسم المنحني الظاهر في الشكل (5-3) اساق ومنه وما أن معامل القدرة (PF) يتم إحتسانه بقسمة اعراله الفعالة (Active power) على اعراله لظاهرة (Apparent power) فإنه يصف كفاءة هذه المادة اعراله (Efficiency) مما يعطي معلومات بصرفه عن حالة اعادة اعراله ومستوى بقاءها عن تتع كفاءتها مع الزمن وحتت ظروف الطبعیه وغير الطبعیه التي تتعرض لها مادة اعراله أثناء عملها أو سلب أو خربها.

○ معامل التبدد (Dissipation factor - DF) أو كما يُسمى (TanDelta - Tan δ)

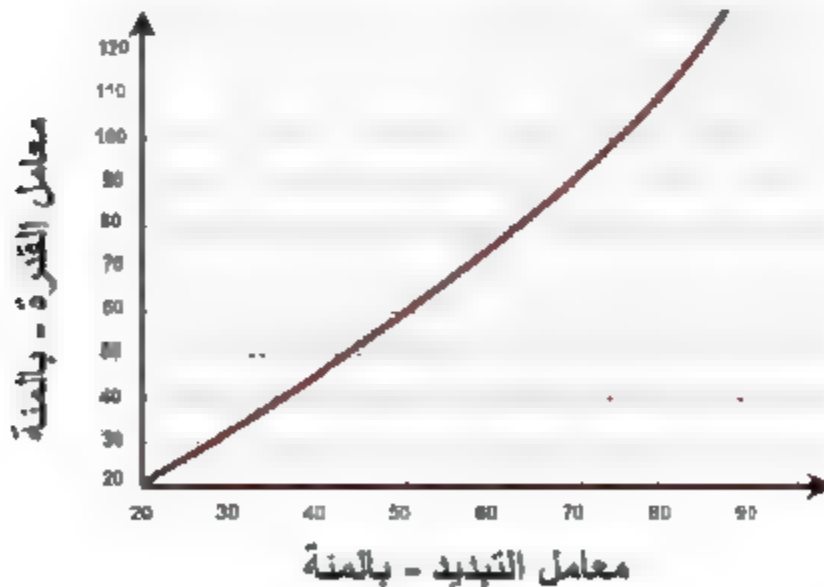
عند تطبيق طاقة كهربائية على نظام العزل و الذي ضيق وأن تم تمثيله على أنه مداسعه موصوله على توري مع مقاومه، فإن جزء من هذه الطاقة يتم تبديد من قبل هذه المقاومه على شكل حرارة، ولمعرفة بسه هذه الطاقة المُبددة من قبل هذا العازل فإنه يتم اللجوء لإحساب قيمة معامل التبدد و الذي يُعطي ما يُسمى بمعدل تبديد أو الصاغات (Rate of loss)

و بالرجوع لتعريف البنية الكهروضوئية الدولية (IEC) لمعامل القدرة (PF) و التبدد (DF) على أنه نسبة القدرة فعلة (Active power) المُخصصة من قبل المادة العزله إلى القدرة غير فعلة (Reactive power) المُطلقة يُمكن كتابة المعادلات التالية

$$DF = \text{Active Power (watt)} / \text{Reactive Power (var)} \quad (5.5)$$

$$= \frac{I_T}{I_C} = \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_p \cdot C_p} = \tan(\delta) \quad (5.6)$$

ملحوظة (5-1): تكون قيمه معامل التبدد (DF) المودحيه مساويه لقيمة معامل القدرة (PF) عند تكون الزاويه (phi) لطاهرة في الشكل (5-3) قريبه من (90°) درجة، أي بصيغه أخرى، إن قيمة معامل التبدد (DF) تكون مساوية لقيمة معامل قدره (PF) عندما تكون قيمتهما أقل من (10%) بالمتة، أما فيما يخص القيم الأكبر من (10%) بأمتة قريبها يتم تصحيحه وفقاً لمتحى الظاهر في الشكل (5-4) كما ورد في السكيب التصديقي جهاز القياس (DELTA2000) المُصنّع بواسطة شركه (MEGGER)



الشكل رقم (5-4)

○ المواسعة (Capacitance)

تُعدّ لمواسعة كهربائية (Capacitance) مقياساً لقدرة الدائرة على تخزين الشحنة الكهربائية، فعند توصيلها على مواسع (Capacitor) مكوّن من زوج من الصفائح الموصلة بفصل بينهم طبقة من مادة عازلة تُجنّب الإلكترونات على البوابة إلى أحد الأقطاب مما يؤدي إلى أن يُصبح هذا السطح لديه فائض من الإلكترونات (لوح السالب) في حين أن اللوح الآخر يُصبح لديه نقص بالإلكترونات (لوح الموجب). بحيث تكون هاتان السعتان كل لوح تحدد قدرته على الاحتفاظ بالإلكترونات وتعتمد على مساحة هذا اللوح



الشكل رقم (5-5)

و تعتمد لشحنة الحاصلة بالمواسع (Capacitor) على مقدار الفولتية المُطبقة عليه وكذلك سعته هذا لموسع كما هو مبين بالمعادلة (5.7) التالية

$$Q = CV \quad (5.7)$$

حيث:

Q	شحنة المواسع
C	مقدار المواسعة
V	فولتية المُطبقة على المواسع

و سيجد تغير قيمة الفولتية المُطبقة على طرفي لموسع بسعة الزمن، فإنه يشاهد بمرور خلا هذه المواسع كما هو مبين بالمعادلة (5.8)

$$I_c = C \frac{dV}{dt} \quad (5.8)$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (5.9)$$

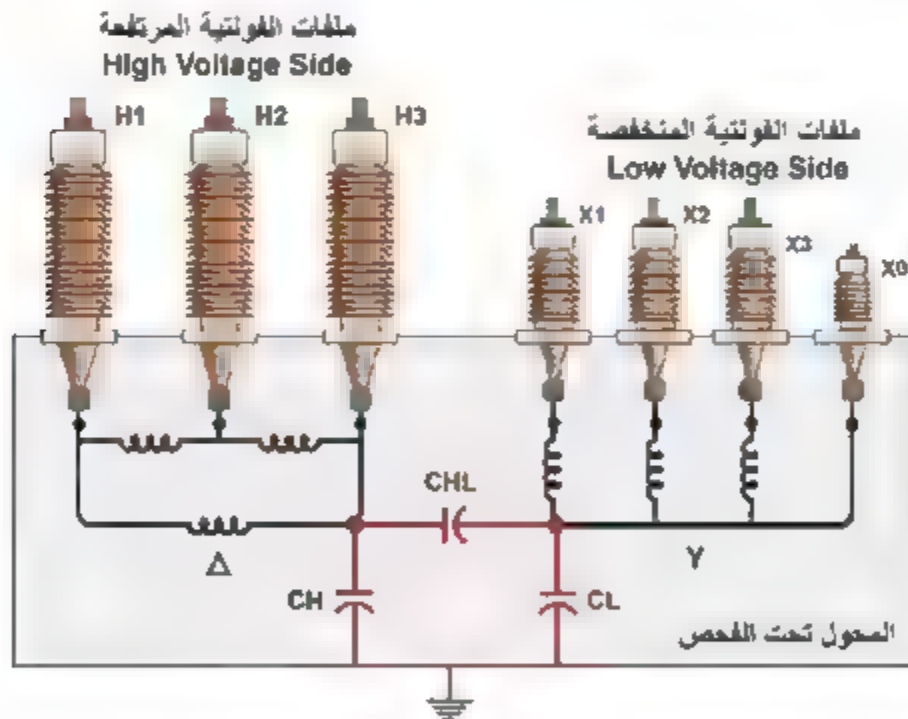
حيث:

I_c	تيار المواسع
C	مقدار المواسعة
$\frac{dV}{dt}$	مقدار تغير الفولتية مع الزمن
A	مساحة الأقطاب المكونة للمواسع
d	المسافة لفاصلة بين الأقطاب المكونة للمواسع

ومن المعادلات السابقة يظهر جلياً أن قيمة المواسعة الكهربائية تعتمد على الأمور التالية

- ✓ المسافة بين لوحين بحيث تتناسب قيمة المواسعة وقيمة الشحنة المُكوّنة بين الألواح تناسباً عكسياً مع مقدار المسافة بين لوحين المواسع
- ✓ مساحة الألواح. بحيث تتناسب قيمة المواسعة وقيمة الشحنة المُكوّنة بين الألواح تناسباً طردياً مع مقدار مساحة لوحين المواسع.
- ✓ نوع المادة العازلة بين الألواح.

من سبق يُمكن ملاحظته أن قيمة المواسعة الكهربائية تتأثر بمجموعة من القيم الكهربائية كمساحة لوح الموصل، المُكوّن لهذا المواسع (A) والمسافة الفاصلة بين هذه الألواح (d) بالإضافة لنوع لمادة عازلة المُستخدمة (ε)، وهذا سوره جعل لهذه المواسعة أهمية كبرى في الكشف عن حالة المحول داخلية عن طريق عقد هذه الدلائل على حدوث تغيير كهربائي في نسبة المحول الداخليه كغير المسافة الفاصلة بين الملفات نتيجة تعرضها لصدمه ميكانيكية أثناء سبل المحول أو تعرض المحول لتيارات عطل كبيرة وما ينتج عنها من قوى ميكانيكية أو انه قوى ميكانيكية أخرى قد يتعرض لها المحول أثناء عمله أو أثناء عمله لطبيعي.

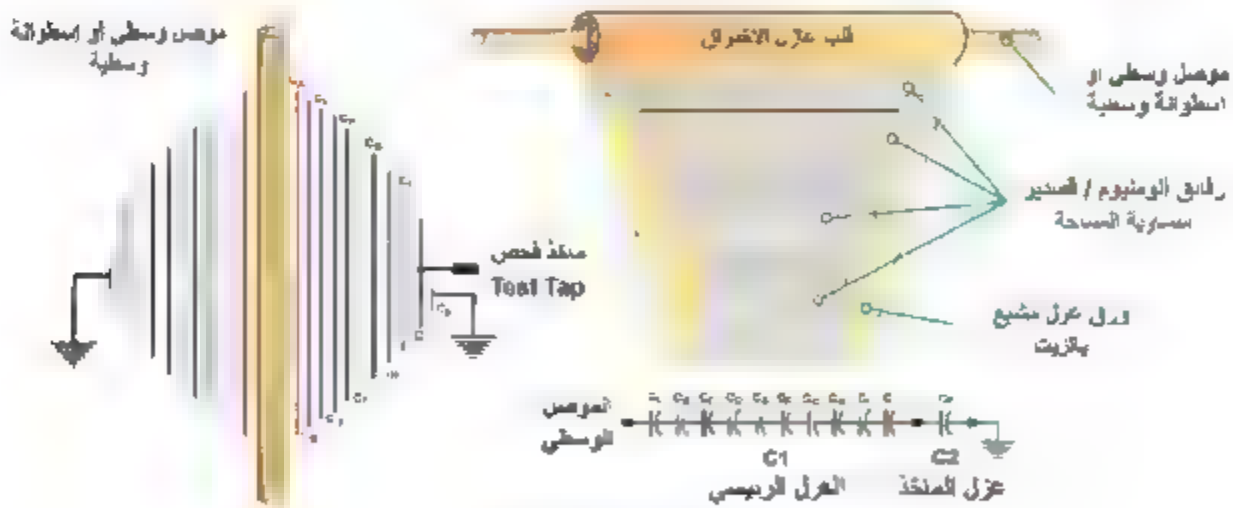


شكل رقم (5-6)

ولربدة لفهم فيه يُمكن تمثيل نظام العمل داخل المحول وعوارض الإحتراق بواسطة الحوسبة حيث يُبين الشكل (5-6) ثلاث أقطاب رئيسية للمحول وهي ملفات الفولتية المرتفعة (HV) وملفات الفولتية المنخفضة (LV) وخزان المحول (الأرضي)، حيث تم تحليل هذه الأقطاب نتيجة لإختلاف قيمتها عندما يكون المحول مُكهرب (Energized)، وذلك لأن المواسعة الكهربائية تتشعب في منطقتين مختلفتين بقيمة الفولتية مما أدى إلى إنشاء فرق الجهد العزل الموصلة بالشكل (5-6) السابق (CH و CHL و CL) للمحولات ثلاثية الطور ثنائية الملفات كمثال، وتعتبر هذه المواسعات عن الآتي

- ✓ تُعتبر المواسعة (CH) عن مُركبة لعزل الخاصة بملفات العواثية المرتفعة (HV Winding) والتي تأخذ عزلاً كهربائياً بين ملفات العواثية المرتفعة والكهربية ونقاط تأريض وتُشمل هذه المُركبة المواد لعازله الموجودة في عوارل إحترق العواثية المرتفعة (HV Bushings) والمواد لعازله الخاصة بملفات العواثية المرتفعة (HV Winding) ونسب وكذلك مواد لعزل الأخرى الدخلة في تكوين المحول بالإضافة الى زيت المحول.
- ✓ وتُعتبر المواسعة (CHL) عن مُركبة لعزل التي تأخذ عزلاً كهربائياً بين ملفات العواثية المرتفعة والكهربية (HV Winding) وملفات العواثية المنخفضة الكهربية (LV Winding) وتُشمل هذه المُركبة المواد لعازله الخاصة بملفات العواثية المرتفعة والمنخفضة بالإضافة الى زيت المحول.
- ✓ وتُعتبر المواسعة (CL) عن مُركبة لعزل الخاصة بملفات العواثية المنخفضة (LV Winding) والتي تأخذ عزلاً كهربائياً بين ملفات العواثية المنخفضة والكهربية ونقاط التأريض وتُشمل هذه المُركبة المواد لعازله الموجودة في عوارل الإحترق العواثية المنخفضة (LV Bushings) والمواد لعازله الخاصة بملفات العواثية المنخفضة (LV Winding) ونسبها وكذلك مواد لعزل الأخرى الداخلة في تكوين المحول بالإضافة الى زيت المحول.

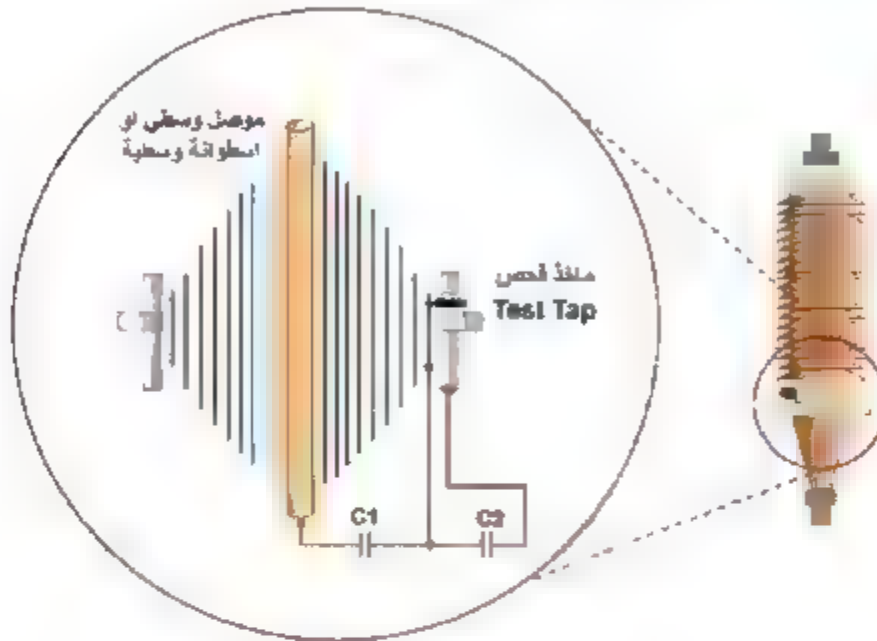
يُمكن تصنيف هذا الفحص أيضاً على عوارل إحصاء المحولات (Bushings) ذات لعزل الشعوي كُنترج فقط (Capacitive-graded bushings) وفقاً لـ إيميار اللجنة كهروتقنية الدولية [IEC, 60137-2017] بحيث يتم إجراء هذا الفحص عازل الإحترق بشكل منفرد في حين يركبه على المحول وبعد تركيبه كذلك. يتم تمثيل نظام العزل الخاص بعوارل الإحترق ذات العزل المدمج بواسطة مجموعة من الخواص الموصولة على التوالي ذات قيمة متساوية وذلك لضمان توزيع متساوٍ للجهود الكهربية الناتجة عن توصيل الوسطي كما هو مبين في الشكل (5-7).



الشكل رقم (5-7)

كما تم شرحه في الفصل الأول فإن هذا النوع من عوارل الإحترق (Bushings) ذو أنواع وأشكال مختلفة ومنه ما يأتي مأخذ فحص (Test Tap) كالمبين بالشكل (5-7) والسابق والشكل (5-8) بحيث ينقسم مطبقة لعزل الداخلية لقسمين رئيسيين: القسم الأول وهو لعزل الرئيسي لعزل الإحترق أي العزل بين الموصل أو الأسطوانة لوسطية لعزل الإحترق من جهة ومأخذ الفحص من جهة أخرى وعدة ما يتم

الإشارة ه دلمواسعة (C1)، والمقسم الثاني هو العزل بين مأخذ الفحص (Test Tap) و الأرض ويُشير له دلمواسعة (C2) لأعراض تشخيصية ولتحديد الأعطال في عوازل الإحتراق (Bushings) عادة ما يتم الإعتماد على فحص المواسعة العزل الرئيسي (C1) أما عزل مأخذ الفحص (C2) فإنه لا يُستناد منه لأسباب تشخيصية، بل أن بعض المراجع أورد أن أنه من الممكن الإعتماد على قيمة معامل تقايرة (PF) لفركية العزل هذه (C2) في الكشف عن تلوث الزيت الداخلي لعازل الإحتراق.



الشكل رقم (5-8)

ملحوظة (5-2): عادة ما يكون العزل (Tap electrode) مؤزعا في حال كانت المحول بالخدمة إلا في حالات تصميمية معينة.



- كيف يُدل هذا الفحص على وجود أعطال في المحولات وعوازل الإحتراق الخاصة بهذه المحولات (Transformer bushings):

في تدب شرح فلسفه الفحص تحت الإحاطة عن هذ المسؤول متكامل، حيث أن معامل التسديد ومعامل لعدده (DF و PF) ما هما إلى بسب ناتجة عن قسمة 'قدرة الفعالة' (الحسنة في حاشتها هذه) على القدرة عبر الفعالة أو الظاهرية (القدرة الكلية)، وهذ بدوره يوضح بشكل حلي أن هاذين المعاملين يدلان بشكل مباشر على كفاءة هذ العزل؛ فكلما زاد قيمة الحسنة (القدرة الفعالة) سيرد لاحقا ر متاح عن قسمها على القدرة الكلية (القدرة الظاهرية) وهذ المعامل متاح هو معامل التسديد أو قدرة

أم قيمة يُخص فحص لمواسعة (Capacitance) فكما هو معلوم أن قيمة المواسعة تعتمد على بعض لعقيم الفيزيائية وتحمها المسافة، فاحصه بين 'موصلات' بناءً على ذلك يُمكن إستنتاج أن لمواسعة يصف

لحاله العابريه اياخليه لمحول وفي حال تعرض المحول لأنني جهد ميكانيكي كبير كالمسقوط أو الصدمات أو أية أضرار ميكانيكية أخرى كالتعرض لها في حال حدوث أعطال أرضية (Earth faults) أو أعطال قصر (Short circuit faults) فإن هذا كله سيؤدي لتغير في قيمه لمواسعه الخفاسه ولدي سور يندس على وجود هذ النوع من الأعطال في المحولات. ولكن عند الحديث عن فحص موسعه لعزل يخرق محولات (Bushings) فإن التجميع يختلف قليلاً حيث أن نمط الأعطال (Failure mode) لعزل الإحراق يختلف عن نظيره لعزلت لمحول. فكما هو ظاهر في الشكل (5-7) اسبق فإن منظومة عزل الناحية الرئيسي عازل الإحراق ولشار بأنه بالموسعة (C1) تكون من مجموعة من الموصلات متسوية المقمار وموصولة مع بعضها على التوالي مما يعني أنه في حال حدوث قصر (Short) لوحد من هذه الموصلات (نمط العطل الأكثر شيوعاً لعزل الإحراق) فإن قيمة الموسعة الكلية ستردد كما هو موضح بالمثال التالي

مثال: على فرض أن قيمه الموصلات الموصولة على التوالي (C_A إلى C_J) الظاهرة في الشكل (5-7) تساوي (700pF)، يكون فإن ذلك سبب فإن الموسعة المكافئة (C1) ستساوي:

$$\frac{1}{C1} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_C} + \frac{1}{C_D} + \frac{1}{C_E} + \frac{1}{C_F} + \frac{1}{C_G} + \frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_I} + \frac{1}{C_J}$$

$$\frac{1}{C1} = \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700} + \frac{1}{700}$$

$$C1 = \frac{700}{10} = 70 \text{ pF}$$

وفي حال حدوث عطل لأحد هذه الموصلات، الموصولة على التوالي فرضاً بموسعة (C_H) حيث عادة ما تكون نمط اعدل (Failure mode) على شكل دائرة قصر (Short circuit) في عالم الأخر كما تم ذكره مسبقاً، فإن قيمة الموسعة المكافئة (C1) ستزداد كالآتي:

$$\frac{1}{C1} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_C} + \frac{1}{C_D} + \frac{1}{C_E} + \frac{1}{C_F} + \frac{1}{C_G} + \frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_I} + \frac{1}{C_J}$$

$$C1 = \frac{700}{9} = 77.8 \text{ pF} \approx$$

وهذا بدوره يُفسر كيف يُدلى هذ الفحص على وجود الأعطال في محولات وعزل الإحراق (Bushings)

4. طرق الفحص

يُمكن إجراء هذا الفحص بعدة طرق وذلك إما بواسطة المقصّر كقنطرة شيرنج (Schering bridge) أو قصيره (Transformer ratio arm Bridge) أو قنطرة تيتكس (Tettex bridge) أو بطريقة (Volt-Ampere-Watt method) أو ما يُسمى بفحص دول (Doble test) أو بواسطة أجهزة الفحص الإلكترونية الحديثة كتلك المُصنعة بواسطة شركة (MEGGER) أو غيرها من الشركات لرائدة في هذا المجال والتي تعتمد في آلية عملها على أحد القناطر سابقة الذكر.

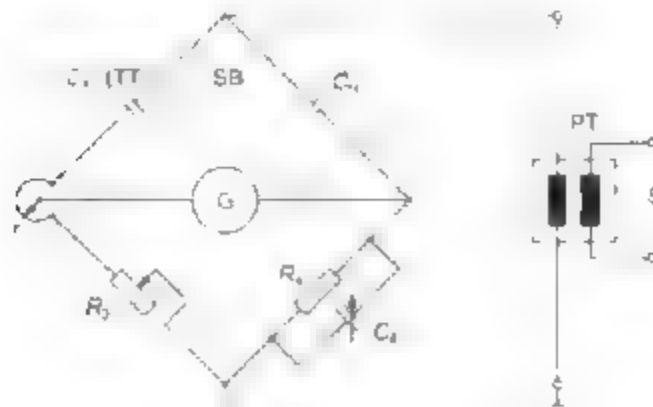
4.1 الفحص بواسطة القناطر (Bridges)

تعتمد هذه الطريقة في القياس على مقارنة مواسعة المحول تحت لفحص (C_X) مع سعة معروفة مسبقاً (C_N أو C_H) أو ما يُسمى بالـ (Standard Capacitance).

• قنطرة شيرنج (Conventional Schering Bridge)

تُعد هذه النوع من القناطر من أقدم الوسائل المُستخدمة في قياس مع من التردد / قدرة حيث تم تطويرها لأول مرة في أوائل القرن العشرين (1900's)، حيث تتكون هذه القنطرة من الأجزاء التالية كما يظهر بالشكل (5-9) حسب [ABB, Testing of Power Transformers Edition]

- ✓ مواسعة غير معروفة (C_X) والتي تُمنى بواسطة المحول المراد فحصه
- ✓ مواسعة معلومة القيمة (C_H) ذات خواص مرتبطة وصيغرات عرب مسخضة وسنة ما تكون قيمتها من (100pF) بيكوفاراد إلى (10nF) نانوفاراد.
- ✓ مقاومة غير حثية ثابته (R_4) بحيث تكون قيمتها قريبة من $(100/\pi)$ أو $(1000/\pi)$ أو $(10000/\pi)$ أوم، أي الأخرى وذلك لتبسيط الحسابات الخاصة بهذه القنطرة
- ✓ مقاومتين غير حثيتين متغيرتين (R_3) و (r)
- ✓ مواسعة مُتغيرة (C_4).
- ✓ جلفانوميتر (G).
- ✓ كوابل محورية (Coaxial cables) للتوصيل بين (C_X) و (C_H) وذلك لتفادي من تأثير التشويش الخارجي على قيمة الفحص.



الشكل رقم (5-9)

بعد الوصول لمرحلة التوازن (Balance) لهذه القنطرة أي عدم مرور التيار في الحمل ومبتدئ يتوقع بحساب قيمة معامل التبدد ($\tan \delta - DF$) وفقاً للمعادلة (5.11) التالية:

$$C_X = \frac{C_N \cdot R_4}{R_3 + r} \quad (5.10)$$

$$\tan \delta = C_4 \cdot \omega \cdot R_4 \quad (5.11)$$

حيث:

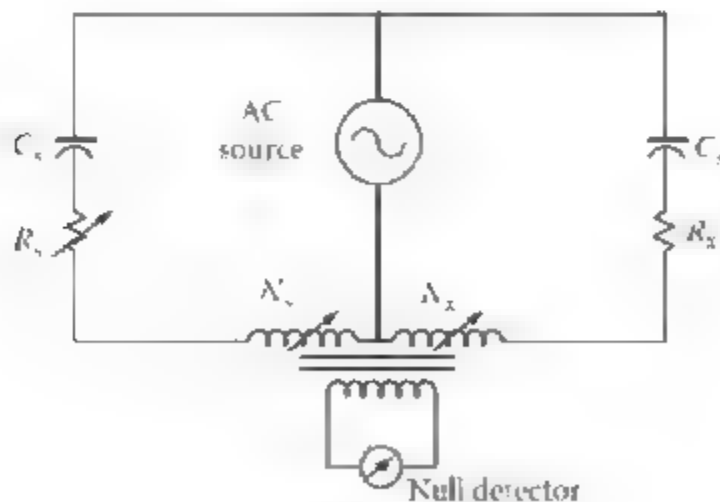
$$\omega = 2 \pi f \quad (5.12)$$

وفي حال إجراء القياسات عند (50 Hz) هيرتز وكانت قيمة $R_4 = 1000/\pi$ وقيمة C_4 كما هو وارد فإن قيمة معامل التبدد / فقدرة (DF/PF) يمكن حسنها باستخدام المعادلة (5.13) التالية:

$$\tan \delta = 2 \pi 50 \cdot C_4 \cdot \frac{100}{\pi} \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-2} = 0.01 C_4 [\%] \quad (5.13)$$

• قنطرة (Transformer ratio arm bridge)

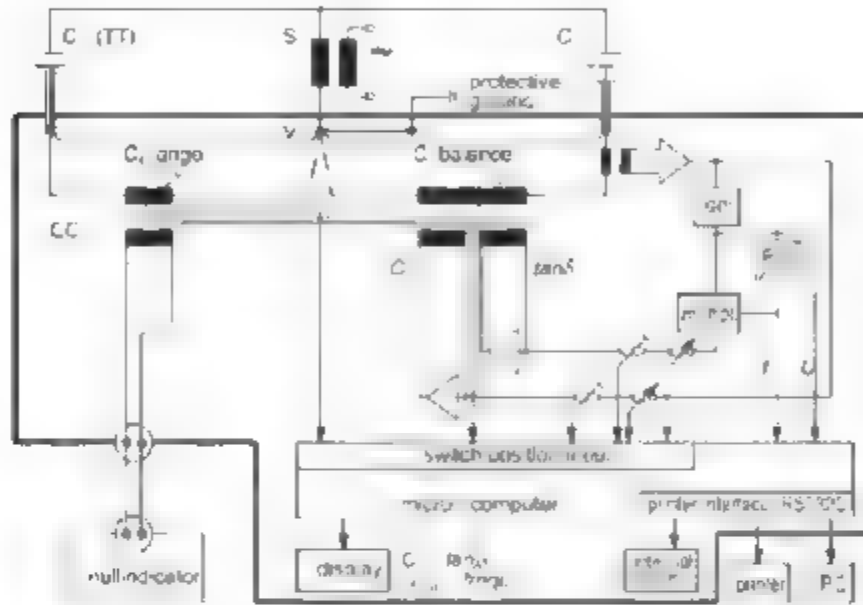
في هذه القنطرة يتم تطبيق الفولتية نفسها على الموائعة المرحعية (C_N) و الموائعة المراد قياسها (C_X) ومن ثم يتم موازنة تيار الموائعة المرحعية والتيار الموائعة المراد قياسها عن طريق تغيير عدد لفات أذرع محول التحويل لتتساوى (N_X و N_N). وكذلك يتم موازنة التيار المادي I بالقدرة المأخوذة المراد قياسها (R_X) مع التيار المادي I بالقدرة المأخوذة المتغيرة (R_N) عبر تغيير قيمة هذه المقاومة المتغيرة، وبعد الوصول لحالة التوازن يتم احتساب قيمة الموائعة C_X و المقاومة R_X ومنه يتم احتساب قيمة معامل التبدد/القدرة (5-10) لوارد بالمرجع [Paul Gill, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing] بين استخدام هذه القنطرة في أجهزة المحصن المصنعة بواسطة شركة (MEGGER) عاميه بـ (DELTA2000) و (DELTA3000)



الشكل رقم (5-10)

- قنطرة حساب معامل التدد يد إضافة مقارن بيار ومعالجات دقيقة (DF bridge with current comparator and microprocessor

في هذه القنطرة يتم احتساب معامل التدد / القدرة بنفس مبدأ العمل نحصل بقنطرة شيرنج (Schering Bridge)، حيث ان الميار يتم عمل بران له في 'مقارن (Comparator) نحقق بيار لموارد صباغات كما يظهر في لة ثرة الخاصة بهذه القنطرة في الشكل (11-5) من نوع (TETTEX 2809) حسب (ABB Testing of Power Transformers Edition1]

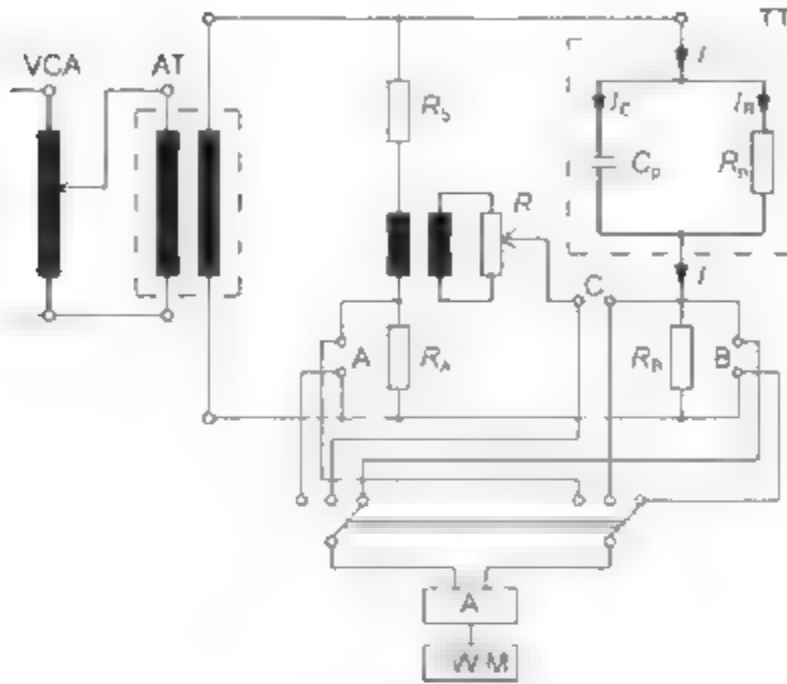


الشكل رقم (11-5)

4.2 فحص دوبل أو ما يُسمى بطريقة الفولت - أمبير - واط (-Volt) Doble test (ampere-watt method"

يعتمد هذا فحص على قياس بيار الشحن المزود وكذلك صباغات المادة العارله بالإضافة بموسعة لمادة العارله مع كون تحت الفحص، بحيث يتم احتساب معامل التدد/القدرة بالاعتماد على قيمه لتيار والصباغات سابقة الذكر.

الشكل (5-12) يُبين دائرة فحص دوّبل (Doble test) مُبسّطة حسب [ABB, Testing of Power Transformers Edition1]



الشكل رقم (5-12)

ملحوظة (5-3). عند فحص عوارل إختراق المحولات (Bushings) باستخدام القناطر يُصبح استخدام القناطر من نوع (Transformer-ratio arm type)



4.3 الفحص باستخدام أجهزة الفحص الحديثة؛ مثل جهاز (DELTA 2000 by MEGGER) كما سيتم شرحه بالملحق رقم (5-1).

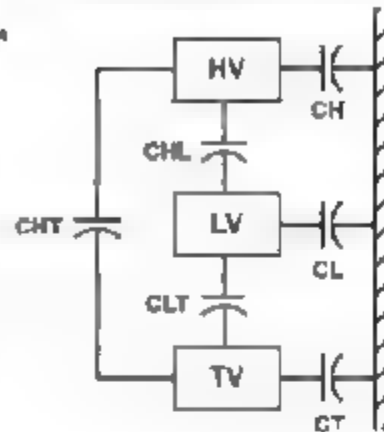
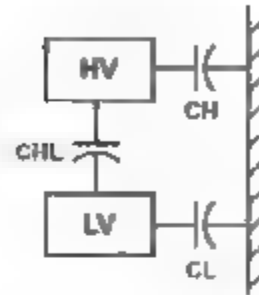
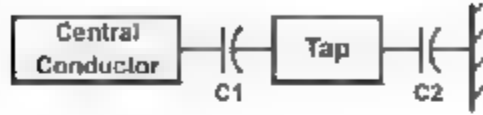
5. أساليب الفحص

تعد المحولات وعوارل الإختراق من المعدات التي تحتوي على مضخمة عزل مُركبة فكما هو مُبين بالشكل (5-13) للمحولات ثلاثية الطور ثنائية وثلاثية المراحل فإن مضخمة عزل تتكون من العزل بين المراحل المخفضة وبين المراحل والأرض، أما عوارل الإختراق (Bushings) ذات العزل المدرج (Graded insulation bushings) فإن مضخمة العزل الخاصة بها تتكون عادةً من العزل الرئيسي والذي يكون بين الموصّل لوسطي ومأخذ الفحص (Test tap) والعزل الثانوي أو عزل المأخذ والذي يكون بين مأخذ لفحص والأرضي وذلك عوارل الإختراق ذات مأخذ الفحص (Test tap)

محول ثلاثي الأطوار ثلاثي الملفات

محول ثلاثي الأطوار ثنائي الملفات

عزل اغترابي ذو مأخذ فحص

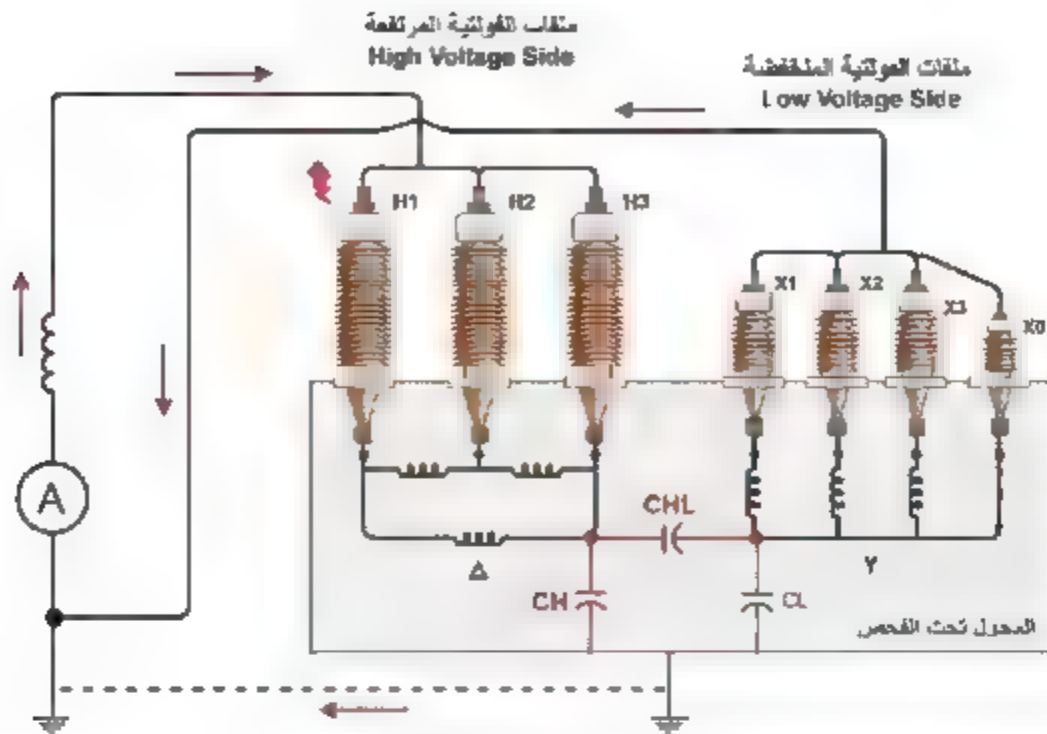


الشكل رقم (5-13)

مما سبق وبدلياً اتعمد، دعام العزل، المحولات وغور، جغراف هذه المحولات، وحيث يختار الأسلوب المناسب للفحص وفقاً لموقع مُركبة العزل المُراد فحصه، فيما إذا كانت بين الملفات أو بين المصعد والأرضي أو غيرها من مُركبات العزل. حيث تلحظ هذه الأساليب بثلاثة رئيسية كالآتي

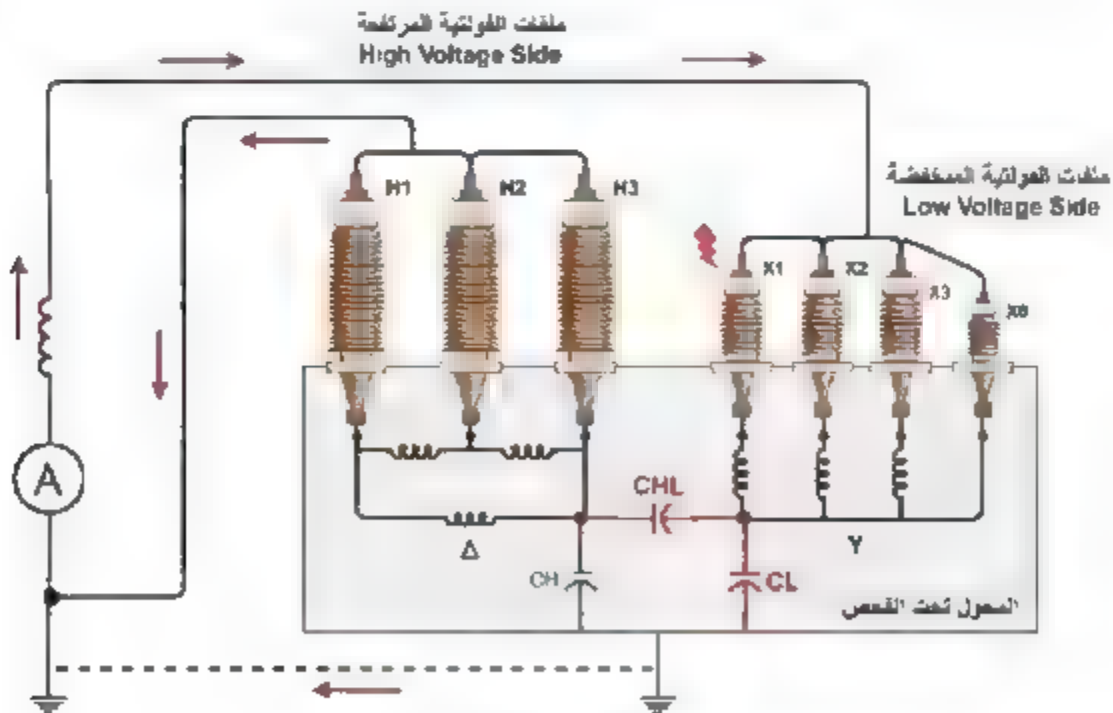
5.1 عبة فحص مؤرضة - Grounded Specimen Test (GST)

عادة ما يتم استخدام هذه الأسلوب لمحولات عند فحص العزل بين المصعات لمحتصه (HV و LV و TV) مُصفاً إليه عن أحد هاتين هاتين مع الأرضي كما هو مبين بالشكل (5-14) الذي يوضح توصيلة الأسلوب (GST) المُسع لفحص العزل بين مصعات الفولتية المرتفعة والمخفضة من جهة مُصفاً إليه عزل مصعد لعولتية لمرفعة مع لأرض (CHL + CH) من جهة أخرى لمحول ثلاثي لأطور ثنائي لمصعات، بحيث يتم تطبيق الهوائية على مصعد الهوائية للمحول وقراء التيار استرني عبر هاتين لعولتية المخفضة وكذلك الأرضي.



الشكل رقم (5-14)

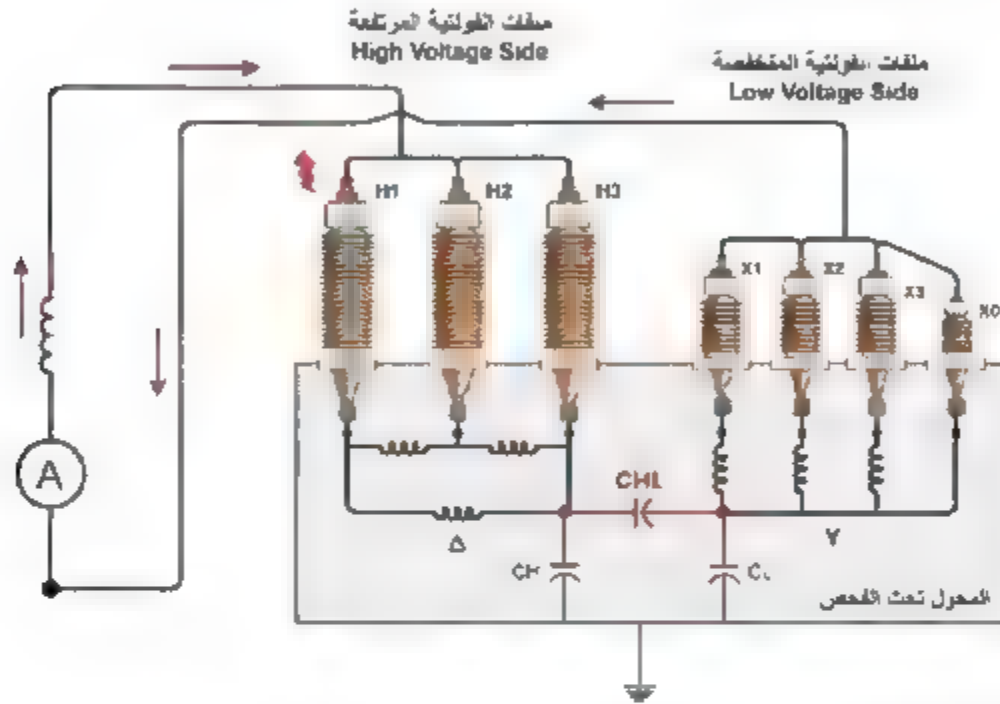
الشكل (5-15) يوضح توصية أسلوب العينة 'مؤرضة' (GST) المُتَّعَ اسحس العزل بين ملفات هوائية المرتفعة والمنخفضة من جهة مصفاً إليها عزل ملفات الثانوية المنخفضة مع لُرس (CHL + CL) من جهة أخرى محول ثلاثي الأطوار ثنائي المتفات، بحيث يتم تطبيق توصية على ملفات هوائية المنخفضة لمحور ذرة. تيار السُرّي عبر صدادات الفوائض المرتفعة وكذا، دُرسي



الشكل رقم (5-15)

5.2 عينة فحص غير مؤرضة (UST) - Ungrounded Specimen Test

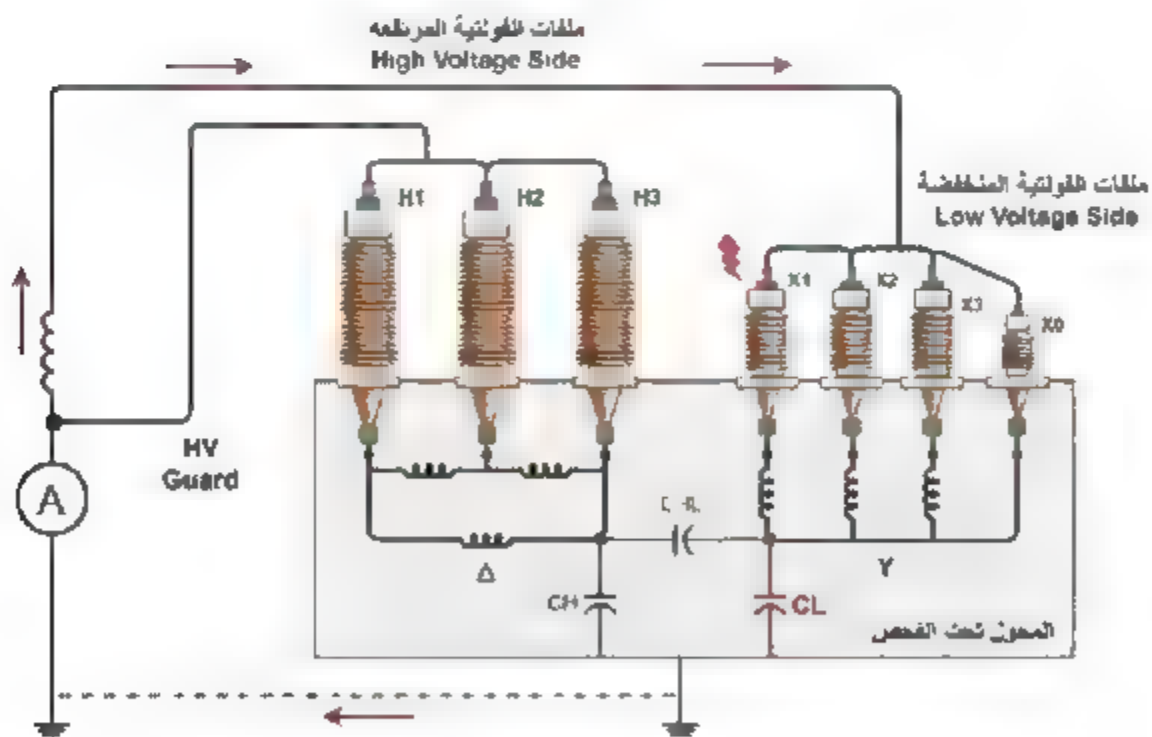
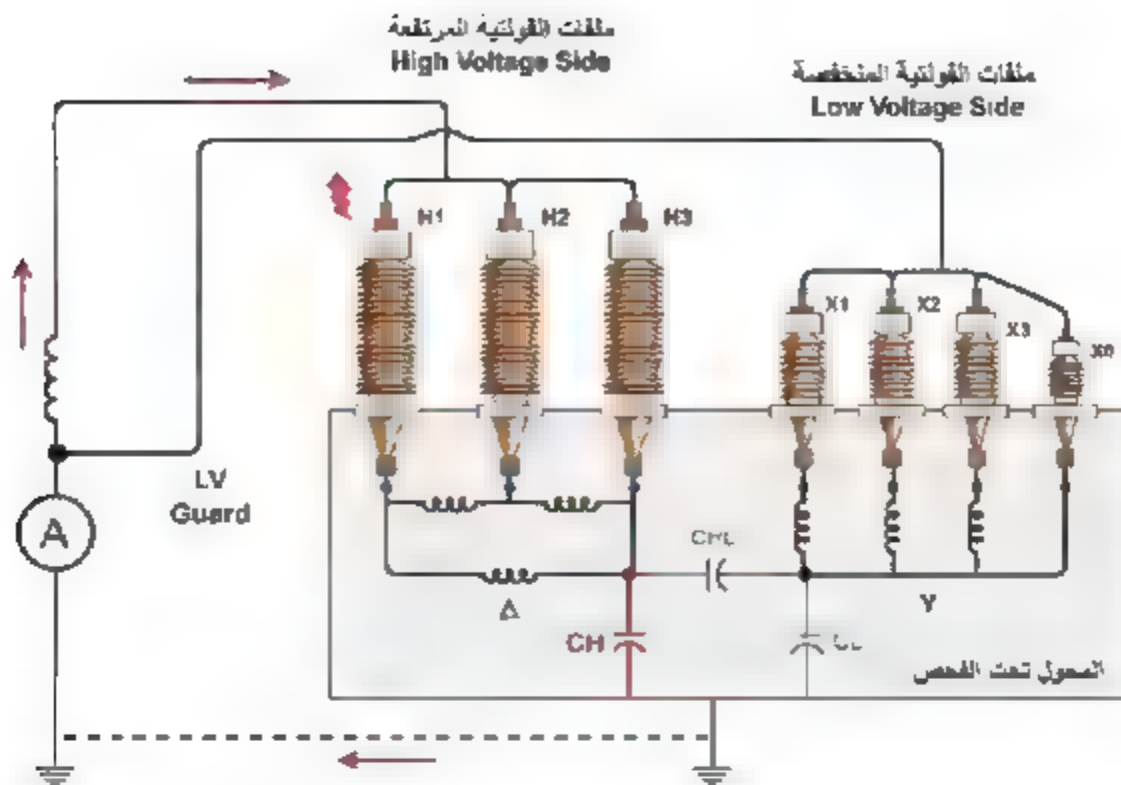
عادة ما يتم استخدام هذا الأسلوب للمحولات عند فحص العزل بين ملفات المخفضة فقط (CHL) كما هو موضح بالشكل (5-16)، بحيث يتم تطبيق العوازل على ملفات العوازل المرتفعة/المخفضة للمحول وقراءة التيار التسري عبر ملفات العوازل المرتفعة/المخفضة فقط. بالإضافة إلى أن هذا الأسلوب يُستخدم بشكل أساسي لفحص عزل الرئيسي (CI) لعوارل الإختراق (Bushings) كما يظهر في الشكل (5-16) (19)



الشكل رقم (5-16)

5.3 عينة فحص مؤرضة مع إزالة تأثير الملفات الأخرى - Grounded Specimen Test - Guard (GST-Guard)

عادة ما يتم استخدام هذا الأسلوب للمحولات عند فحص العزل بين ملفات المولدين المرتفعة من جهة والأرضي من جهة أخرى (CH) مع تحييد التيار الراجع من ملفات المولدة المخفضة كما هو مبين بالشكل (5-17)، أو عند فحص العزل بين ملفات المولدين المرتفعة من جهة والأرضي من جهة أخرى (CL) مع تحييد التيار الراجع من ملفات المولدة المرتفعة كما هو مبين بالشكل (5-18)، حيث يتيح هذا الأسلوب للخص من التيار عبر المربوع بها وذلك يتم بتطبيق المولدة على ملفات المولدة المرتفعة أو المخفضة للمحول وقراءة التيار التسري عبر الأرضي فقط.



ويُمكن تلخيص توصيلات هذه الأساليب من خلال الجدول أدناه وفقاً لموع المحول فيما إذا كان ثلاثي الأطوار ثنائي الملفات أو ثلاثي الملفات بالإضافة لمو.ل. خ.و.ل. المحولات (Bushings).

• محول ثلاثي الأطوار ثنائي الملفات (three phase two windings transformer)

الجدول (5-1) يُبين التوصيلة المناسبة لكل أسلوب من أساليب الفحص مع ذكر القيمة المُقاسة عند استخدام هذا الأسلوب للمحولات ثلاثية الطور ثنائية الملفات (Three phase two winding transformers).

الجدول رقم (5-1)

القيمة المُقاسة	UST	GST-Guard	GST-Ground	أطراف المحول المشفوية	الفحص
CH + CHL	-	-	LV	HV	1
CH	-	LV	-	HV	2
CHL	LV	-	-	HV	3
CL + CHL	-	-	HV	LV	4
CL	-	HV	-	LV	5
CHL	HV	-	-	LV	6

يُمكن إجراء الفحص رقم (2 و 3 و 5) وذلك لإستخراج القيم التالية (CH و CHL و CL)، كما ويُمكن إجراء لفحوصات (1 و 4) وذلك لإستخراج القيم (CH + CHL) و (CL + CHL) والتأكد من قيمة المُقاسة مسبقاً وذلك كالآتي:

$$Test2 = Test1 - Test3 \quad (5.14)$$

$$Test5 = Test4 - Test6 \quad (5.15)$$

• محول ثلاثي الأطوار ثلاثي الملفات (three phase tertiary windings transformer)

الجدول (5-2) يُبين توصيله المناسبة لكل أسلوب من أساليب الفحص مع ذكر القيمة المُقاسة عند استخدام هذا الأسلوب للمحولات ثلاثية الطور ثلاثية الملفات (Three phase tertiary winding transformers).

الجدول رقم (5-2)

المحصر	أطراف المحول المشحونة	GST-Ground	GST-Guard	UST	القيمة المقاسة
1	HV	LV	TV	-	CH + CHL
2	HV	-	LV/TV	-	CH
3	HV	-	-	LV	CHL
4	LV	TV	HV	-	CL + CLT
5	LV	-	HV/TV	-	CL
6	LV	HV	-	TV	CLT
7	TV	HV	LV	-	CT + CHT
8	TV	-	HV/LV	-	CT
9	TV	LV	-	HV	CHT

يُمكن إجراء المحصر رقم (2 و 3 و 5 و 6 و 8 و 9) وذلك لإستخراج القيم لـ (CH و CHL و CL و CLT و CT و CHT)، كما ويُمكن إجراء المحصرات (1 و 4 و 7) وذلك لإستخراج القيم لـ (CH + CHL و CL + CLT و CT + CHT) والتأكد من القيمة المُقدَّسة مسبقاً وذلك كالتالي:

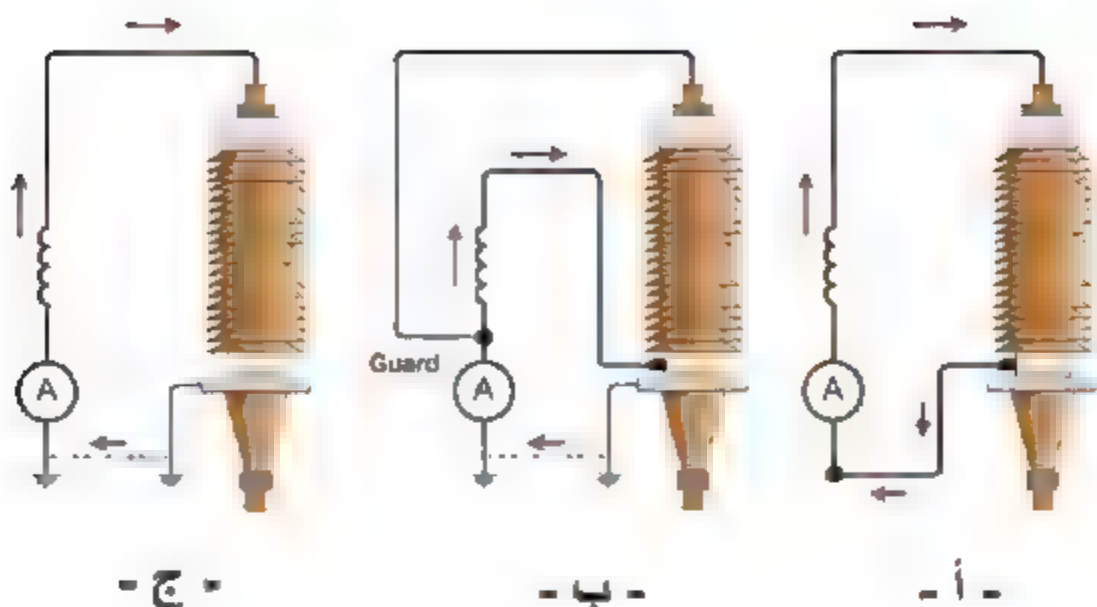
$$Test3 = Test1 - Test2 \quad (5.16)$$

$$Test6 = Test4 - Test5 \quad (5.17)$$

$$Test9 = Test7 - Test8 \quad (5.18)$$

• عوازل الإختراق (Bushings)

أما فيما يخص عوازل احتراق الفولتية المرتفعة من النوع ذو العزل مُتدرج (Capacitive graded bushing OIP or RIP) فإنه عادةً ما يتم استخدام أسلوب فحص العينة غير المؤرضة (UST) وتكون لتوصيله كما هو مبين بالشكل [(5-19) (أ)]، حيث أن هذه التوصيلة تهدف للكشف عن المواسعة (Cl) والتي تمثل مواسعة العزل الرئيسي (وهي المواسعة بين مأخذ الفحص (Test tap) والمُوصل (Conductor) أو الإسطوانة الوسطية (Central condenser)) الموصلة بالشكل (5-8)، وهو غالباً ما يتم فحصه بعد النوع من عوازل الإختراق بشكل روتيني ولأسباب تشخيصية أما المواسعة (C2) والتي تمثل المواسعة بين مأخذ فحص (Test tap) والأرضي أو قاعدة التثبيت (Bushing flange) تحتاج لتوصيلة أخرى كما هو مبين في الشكل [(5-19) (ب)] وعادة لا يتم إستخراج هذه القيمة لأسباب تشخيصية



الشكل رقم (5-19)

وإن حال كان عازل الإحتراق من النوع الصلب أو ذات العزل غير المتدرج (Solid / Ungraded Bushings) فإن الفحص يتم عادة باستخدام أسلوب (GST) وذلك لعام وحيد مأخذ الفحص (Test tap). بحيث يتم لفحص بين الفواصل (Conductor) وحافة عازل الإحتراق أو كما تُسمى بعدة تثبيت عازل الإخترق (Bushing Flange) كما ويحذر الإشارة إلى أن جزء هذا الفحص على هذه الأنوع من سوارل الإخترق (Bushings) غير موصى به وذلك لعدم إعطائه معلومات مفيدة في تشخيص حالة العزل لعازل الإخترق

الجدول (5-3) لتدلي يُبين التوصيلة المناسبة لكل أسلوب من الأساليب الفحص مع ذكر القيمة لشقاسه عند استخدام هذا الأسلوب لعوارل إختراق المحولات (Bushings)

الجدول رقم (5-3)

المحصر	أطراف المحول المشحونة	Ground	Guard	UST	القيمة المقاسة	ملاحظات
1	Conductor	-	-	Tap	C1	*
2	Tap	Conductor	-	-	C1 + C2	**
3	Tap	-	Conductor	-	C2	**
4	Tap	-	-	Conductor	C1	**
5	Conductor	Flange	-	-	Whole Bushing	*

* عادة ما تكون فولتية الفحص (10kV) كلوفولت

** عند لفحص بهذه الأساليب عادة ما يكون قيمة لعزلتيه منخفضة مقارنة بالأساليب الأخرى، يرجى الإطلاع على الملحق (5-2) لبعض قيم الفولتات المقترحة

يُصبح عدة تطبيق فحص رقم (1) في حال كانت نتيجة الفحص غير مُرضية يُمكن تطبيق الفحص رقم (2)، كما ويُمكن إجراء الفحوصات (3 و 4) في حال كانت نتيجة الفحوصات (1 و 2) غير مُرضية وتُنب على وجود عطل بحيث يتم مقارنة نتيجة الفحص رقم (4) بالفحص رقم (1). وفي حال كانت عرب الإحراق (Bushing) غير موصولة بالمحول (Unmounted) تُصبح بإجراء الفحوصات (1 و 2 و 5) معاً

ملحوظة (4-5): عند إجراء هذه الفحوصات لعزل الإحراق (Bushings) غير الموصولة بالمحول (Unmounted) كذلك الموجود في المسودات كمنصع غيار فيه يُصبح توصيل عرب الإحراق على دعامة من مادة موصلة مُرضية ونحت بركها في صندوقها خشبي أو فوق دعامة خشبية لنحت التأثير على نتيجة الفحص ونحت خشب من صم مادة العزل الموصلة



ملحوظة (5-5): فيما يخص عوارل الإحراق (Bushings) فإنه يُصبح بإجراء فحص يُسمى (Hot collar test) في حال كان عزل الإحراق لا يحتوي على مأخذ فحص (Test Tap) أو في حال ظهور نتائج غير مُرضية لفحص (C1) و (C2) بالطريقة الإحتيادية سابقة الذكر، الإضافة لماكد من وجود رت داخل عزل الإحراق في حال كانت بلا مؤشر أو بمؤشر معطل.



6. خطوات الفحص

في التعرف على فلسفة الفحص وطرق وأساليب إجراؤه والتوصيلات اللازمة لذلك، يُمكن بدء خطوات الفحص كالآتي

6.1 عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع مراعاة تطبيق نظام (رقم مصادر الطاقة ووضع لافتات عليه) وما يُسمى بنظام التناقل (Lock-out Tag-out LOTO)

6.2 عزل نظام مكافحة حريق الماء (أو كما يُسمى نظام ترديد خزان المحول وبيع إنشاز الحريق) الخاص بالمحول المُراد فحصه بحشة عن التلوث بشكل حاض أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي لمخاطر لقوس الكهربائي وما يعطوي عنه من محاضر على الأشخاص أو المحول خاصة أثناء تطبيق التوليه على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز الفحص نفسه.

6.3 تطبيق كافة إجراءات سلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية المُصنفة في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Recommended Practices for Safety in High-Voltage and High-Power Testing) و المعهد الوطني الأمريكي للمعيار (ANSI National Electrical Safety Code) و منظمة إدارة السلامة والصحة المهنية (OSHA Specifications for Accident Prevention Signs and Tags)

6.4 فتح أطراف اعولانية المخفضة (LV side terminals) والعولنية المرسعة (HV side terminals) وذلك بإزالة الموصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذلك إحال سقطة التعادل (Neutral point) للمحول إن وجدت.

6.5 تفريغ الشحبات المُحزبة عنصاف 'محول (Trapped Charges) فس توصيل كوس 'فحص وذلك بعمل دائرة قصر للمحولات (Short circuit) وتربطها بدة من الأرض وكذلك إحال بعد الإنتهاء من لفحص وقفل إزالة كوس 'فحص بالإضافة إلى التأكد من 'ربط خزان المحول أثناء إجراء 'فحص

تحليل: يكون تأريض كوابل العولانية المرسعة بما حر تستعجلات التأريض المثبتة (Earthing Dis-connector) أو المتبيلة (Portable) قبل البدء بأك هذه الكواس عن عوارل 'حرق لمحولات (Bushings)، وذلك لما قد تحويه من فواتية حشة (Induction voltage) ناتجة عن 'مُعدب أو خطوط الهوائية (Overhead Lines - OHL) المجاورة للمحول المُراد فحصه والمشحونة بفولتيات مرتفعة



6.6 بهدف العزل الخارجي لعوارل 'محول (Bushings) أمر لا غنى عنه لتجنب التأثير على قيمة لفحص، بالإضافة إلى لتفقد البصري (الظاهري) للعزل الخارجي لعزل الإحتراق فيما د كان هناك أية ضرر ميكانيكي كالتمزق أو شقوق تحق بهذا العزل أو أي توسع غير طبيعيه أخرى

ملحوظة (5-6): عند إجراء هذا الفحص بشكل روتيني فإنه يُدصح بوضع مُعتبر الخطوة (Tap changer) على الخطوة الاعلى (Higher tap) أو لاقس (Lower tap)



6.7 تسجيل درجة حرارة المُعدبة المُراد فحصها وذلك بتسجيل ✓ درجة حرارة زيت العلوي (Top oil Temperature) 'لمحولات المعموه الزيت وفي حال عدم أخذ هذه القيمة حسب ما كتعطل 'مؤشر الخاص بهذه الفراءه، يمكن 'حساب هذه القيمة عن طريق أخذ درجة حرارة حوز 'المحول (بمختلفة فربة من حساس درجة حرارة الزيت العلوي) من خلال ميز حرارة مُلاصق 'لجدار الحوز مصفاً 'لها ثدي الفرق بين درجة حرره الحوز وحرارة الهواء المحيط بالمحول في نفس [Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev.A]

مثال: إذا كانت درجة حرارة 'الحزان من الخارج تساوي (27°) درجة مئوية وكانت درجة حرارة الهواء المحيط بالمحول قرابة (21°) درجة مئوية فإن قيمة درجة حرارة الزيت العلوي المُحتسبة تساوي:

$$Top\ oil\ temp. = Wall\ temp. + \frac{2}{3} \text{ of } (Wall\ tem. - Air\ temp) \quad (5.19)$$

$$Top\ oil\ temp. = 27 + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot (27 - 21) = 31^{\circ}C$$

✓ القيمة المتوسطة هي درجة حرارة الجو المحيط (Ambient temperature) وحرارة الزيت العلوي للمحور. عند فحص عوارل إحترق المحولات (Bushings) ذات النوع (Air to oil Bushings) في حال كانت مُتصلة بالمحول.

✓ درجة حرارة الجو محيط (Ambient temperature) لعوارل إحترق المحول (Bushings) غير المُتصّلة بالمحول أي قبل تركيبها على المحول، كمثل الوجود ضمن قطع العير في المستودعات

ملحوظة (5-7) بالرجوع للمعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.12.90-2015] فإنه عند إجراء الفحص يجب أن يكون درجة الحرارة المسوّخة للملفات والربط محصورة بين ($10^{\circ} - 40^{\circ}$) درجة مئوية و يُفحص أن تكون قريبة من درجة الحرارة (20°) درجة مئوية



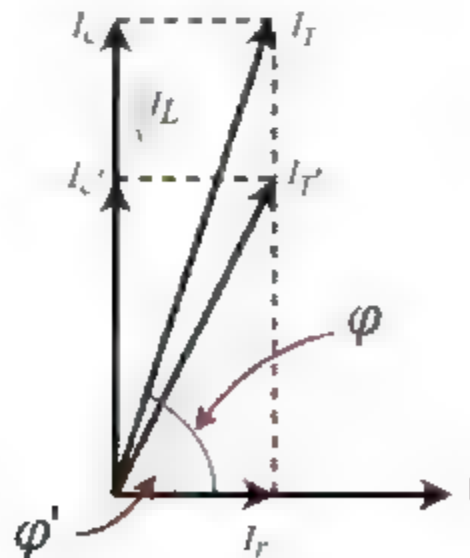
ملحوظة (5-8): يجب تجنب إجراء هذا الفحص عند درجة حرارة أقل من درجة التجمد وذلك لأن هذا الفحص يهدف إلى معرفة مدى رطوبة المادة العزلة وكما هو معلوم فإن خصائص الماء تتسبب عند التجمد بما يجعل تعرفه يستحيل في لغز صعبه القياس



ملحوظة (5-9). عند فحص عوارل إحترق المحولات (Bushings) من النوع (OIP) فإنه يُنصح بأن تكون درجة الحرارة أثناء الفحص مرتفعة حيث أن بعض التجارب أثبتت أنه مع ارتفاع درجة الحرارة يزداد حساسية الفحص لإفحاح كمية الرطوبة في المادة عذله كما ورد في الكتّيب التفصيلي [ABB Bushing diagnostics and conditioning, 2750 515-142 en, Rev.1]



6.8 قصير أضرار، منصات لموثته لمرئعه (HV terminals short circuit) وكذلك أضرار منصات امواتية المصغصة (LV terminals short circuit)، حيث أنه في حالة عدم قصر الملفات بيناً تيار حثي (I_L) والذي بدوره يقوم بإلقاء جزء من التيار لسعوي (I_C) كما هو مبين في الرسم المُصغهي الموضح في الشكل (5-20)



الشكل، رقم (5-20)

من لشكل السابق يُمكن ملاحظته العلاقة ، نظريه بين قيمة التيار السعوي (I_C) وقيمه زوييه (φ) التي نعلم كما قلنا هذه التيار السعوي سيخضع لظهور مركبه التيار الحثي (I_L) ساعده ليذكر مما يؤدي بالتحصيله لزيادة قيمة معامل التمدد/القدرة المقاسة

$$I'_C < I_C$$

$$\varphi' < \varphi$$

$$\cos(\varphi') > \cos(\varphi)$$

عند قصر (**Short circuit**) أصراف الفولتية المربيعه مع بعضه وكذلك أطراف الهولتية المتحصنه بحسب مراعاه أن تكون الأسلاك المستخدمة لعمس دائره القصر (**Short circuit**) قصر ما يمكن وغير سلامة لأي أحسب مؤرضه كحسم المحول أو أي نقاط تأريض أخرى، ويُصحب بالأكس من ربط هذه الأسلاك ببعدها عن الإحسام مؤرضه برابط من مادة عازله وكذلك لتأكد من حفاظ وبعاده هذا الرباط

6.9 عمل القوسية الخاصة بهذا الفحص كما هو موضح في الشخبط وقتل لسرع الجهاز المستخدم في لفحص وذلك بعد التأكد من تعقيم أطراف المحول التي سيتم التوصيل عليها حتى لا تؤثر على قيمة الفحص كما هو مبين بالتحقق رقم (5-1) عند استخدام جهاز الفحص (**DELTA by MEGGER**)

ملحوظة (5-10): يجب أن تكون ملصقات المحول معسورة بأرب عند إجراء الفحص، أي أن لا يكون المحول مُفرغ من الزيت بالإضافة إلى أن تكون عازل حترق محبوس (**Bushings**) موصولة بالمحول.



6.10 تحليل فولتية الفحص :

يُعتبر فحص معامل تنبيذ/القدرة وفحص الموسعة من الفحوصات غير تدميرية للمحول، لذلك يجب تطبيق فولية كهربائية أدل من الفولتية الإسمية للمعدة وأحدول (5-4) التالي بوضوح القيمة المقترحة وحب تطبيقها خلال هذا الفحص كما ورد في **[Jill C. Duplessis, Electric Field Tests for the Life Management of Transformers]**.

الجدول رقم (5-4)

فولتية الفحص المقترحة بالكيلوفولت (kV)	فولتية معات المحول بالكيلوفولت (kV)
10	أكثر من 12
5	أكثر من 5 وأقل أو تساوي 12
2	أكثر من 24 وأقل من أو تساوي 5
1	أقل من أو تساوي 24

وقيم تُخصّص لمحوّلات التوزيع ذات الحملات الموصولة على شكل نجمة (Y - Star) دائرة نقطة تعادل مؤرّصة يُصبح بخدم تطبيق عولمية فحص أكبر من (2kV) كيلوفولت

ولأسباب شحيصة فإنه عند إجراء هذا الفحص على مُعدّات تُشغّل عرّصتها لتتلب كالمحوّلات لي تعرض بعض القسري (Tnp) تتحة لتفقد مرحلات الحماية بالإضافة للمحوّلات خُبرة لفترات طويلة ويشته في عرّصتها أرضونة حالة، فإنه يُصبح بتطبيق فواتية مُناسبة نسبا قراءة ال(2KV) كيلوفولت وفي حال نجاح الفحص يمكن الصاعدا في مقدار الفولتية حتى الوصول لفولتية الفحص مناسبة

وفي هذا الباب تحديث بطول وتطول لذلك فإن أغلب أجهزة الفحص لتحديثه تتيح إجراء هذا الفحص باستخدام فولتات منخفضة وتقوم بتصحيح القيمة المُقاسة (10kV) كيلوفولت و (25kV) كيلوفولت لينسب مقاربها نتائج الفحوصات المصنعة وللموقع السببية لهذا المحوّل وللإسرة في هذا الباب يُمكن إيجاد الجدول المُصنّف بالمصحح رقم (2-5) بعض قيم فولتات الفحص المقترحة لعوارل الاختراق المختلفة وفقاً لمستوى فواتيتها ونوع حارل الاختراق نارجوع لأشهر المراجع والمعايير العامة

6.11 جدول أساليب الفحص وفقاً لنوع المُعدّة المُرد فحصها فيما إذا كانت حارل اختراق (Bushing) أو محوّل ثلاثي، صورثنائي أو ثلاثي المراحل وذلك نارجوع إلى فهرس الباب الفحص

6.12 بعد تحديد فولتية الفحص واختيار أسلوب الفحص المناسب وفقاً لنوع المُعدّة المُرد فحصها يتم البدء بالفحص وفقاً لاختصاصات المصنّعة في الملحق رقم (1-5) الخاص بجهاز الفحص (DELTA2000) المُصنّع بواسطة شركة (MEGGER)

7. تصحيح القيمة المُقاسة

يُعد هذا الفحص من الفحوصات التي تتأثر قيمتها بتعثر درجة حراره أمانه ابعارله تحت الفحص والتي تمثل بحراره الزيت، وأمانه للمحوّلات المعنونة بالزيت، كما تم ذكره مُسبقاً لذلك وأمانه مقبرة المقيم لتتحه عن هذا الفحص بقيم فحوصات القبول المصنّعة (Factory Acceptance Test - FAT) أو لموقعيّة (Site Acceptance Test - SAT) أو عارها من القيم المرجّعة كمُنتج الفحوصات الروتينية لسابقه (Routine Test) لهذا الفحص يُصبح بتصحيح القيمة اسابحه من الفحص أو درجة الحرارة المرجّعة المعنونة وهي عادة (20°C) درجة مئوية بحيث يتم عملية التصحيح الإعتماد على معادلات وحداول أوردها بعض المعايير العامة والمراجع والنشرات التقنية الصادرة عن لشركات المُصنّعة لأجهزة الفحص أو المحوّلات وعوارل الاختراق كالآتي

7.1 معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)

د الإعتماد على المعادله (5.20) الواردة في المعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2006] يمكن تصحيح قيمة معامل العنصر كالآتي

$$PF_{20} = \frac{PF_m}{k} \quad (5.20)$$

حيث:

PF_{20} (قيمة لفرد حسابها) قيمة معامل التدرج عند 'درجة حرارة مرجعية (20°) درجة مئوية

PF_m : قيمة معامل الفلتر المقاسة.

k ثابت التصحيح، حيث يُمكن معرفته بقيمته بالرجوع إلى الجدول (5-5) والخاص بالمحولات ذات نظام العزل مكون من الزيت المعطلي (Mineral oil)

الجدول رقم (5-5)

درجة الحرارة (°C)	معامل التصحيح
10	0.80
15	0.90
20	1.00
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
55	2.18
60	2.42
65	2.70
70	3.00

7.2 الكتيبات التفصيلية الصادرة عن شركة (MEGGER) وشركة (DOBLE)

يُمكن تصحيح قيمه معامل التمدد/الانكماش بالاعتماد على معادله (5.21) الواردة في الكتيب لمصممي الخاص بهار المحص (DELTA2000 manual) المُصنَّع بواسطة شركة (MEGGER) وكذلك لكتيب مصممي الصادر عن شركة (Doble) والخاص بخطوات المحص (Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev.A)

$$DF_{20} \text{ or } PF_{20} = k \cdot (DF_m \text{ or } PF_m) \quad (5.21)$$

حيث:

DF_{20} القيمة أفراد حسابها) قيمة معامل التمدد نسبة لدرجة حرارة مرجعية (20°) درجة مئوية

DF_m : قيمة معامل التمدد المقاسة

k ثابت التصحيح، حيث يُمكن معرفته بقيمته بالرجوع إلى الملحق رقم (5-4)

7.3 النشرات التقنية الصادرة عن شركة (ABB)

وبالرجوع للشرف التقنية الخاصة بعوزل إختراق لمحولات (Bushings) من نوع (OIP و RIP) والمُصنعة بواسطة شركة (ABB) فإنه يُمكن لإعتقاد على المعادلة (5.22) لانيه في تصحيح قيمة معيار التنبؤ المُقدسة [ABB, Bushing diagnostics and conditioning, 2750 515-142 en, Rev 1].

$$DF_{20} = \frac{DF_m}{k} \quad (5.22)$$

حيث:

DF_{20} القيمة المُراد حسابها) قيمة معيار التنبؤ نسبة لحرارة مرجعية (20°) درجة مئوية.

DF_m : قيمة معامل التنبؤ المُقدسة.

k ثابت التصحيح، حيث يُمكن معرفته قيمته بالرجوع إلى الجدول (5-6) والخاص بعوزل إختراق من النوع (OIP و RIP)

الجدول رقم (5-6)

نطاق درجة الحرارة (°C)	معامل التصحيح لعوزل الإختراق من النوع OIP	معامل التصحيح لعوزل الإختراق من النوع RIP
0 - 2	0.80	0.76
3 - 7	0.85	0.81
8 - 12	0.90	0.87
13 - 17	0.95	0.93
18 - 22	1.00	1.00
23 - 27	1.05	1.07
28 - 32	1.10	1.14
33 - 37	1.15	1.21
38 - 42	1.20	1.27
43 - 47	1.25	1.33
48 - 52	1.30	1.37
53 - 57	1.34	1.41
58 - 62	1.35	1.43
63 - 67	1.35	1.43
68 - 72	1.30	1.42
73 - 77	1.25	1.39
78 - 82	1.20	1.35
83 - 87	1.10	1.29

أنتجت التجارب لمختلفة أن التباين في قيمة معامل التبديد/القدرة الناتج عن اختلاف قيمته درجة الحرارة عند فحص كبير وغير متضمن، كانت لا يمكن الإعتماد على منحني معين للتصحيح أو جدول وحدوده بدوره يُفسر وجود أكثر من منحني وحدول التصحيح فكما ورد في معيار مصادر عن معهد مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015] أنه لا حاجة لتصحيح قيمته معامل التبديد/القدرة للمقاسة وبما تم الإكتفاء بذكر قيمة الفحص إلى جانب درجة حرارة الزيت العلوي (Top oil temperature) عند العيّن فقط وبشكل عام فإنه لا حاجة لتصحيح عند فحص محولات المعصورة داريت ذات السعة (Capacity) الأكبر من (500kVA) كيلوفولت أمبير عند التردد الإسمي (50Hz أو 60Hz) هيرتز ودرجة حرره الزيت العلوي (Top oil temperature) محصورة بين (0° و 30°) درجة مئوية كما ورد في كتاب [Jill C. Duplessis, Electrical Field Tests for the Life Management of Transformers]

ملحوظة (5-11) عند إجراء هذا الفحص لعمود بخارج المحولات (Bushings) من خلال تطبيق العولتية على سائح الفحص (Test tap) فإن لسيمة المقاسة لا تحتاج لتصحيح كما هو الحال عند قياس العزل الرئيسي لعازل الإحتراق.



8. تحليل نتائج الفحص

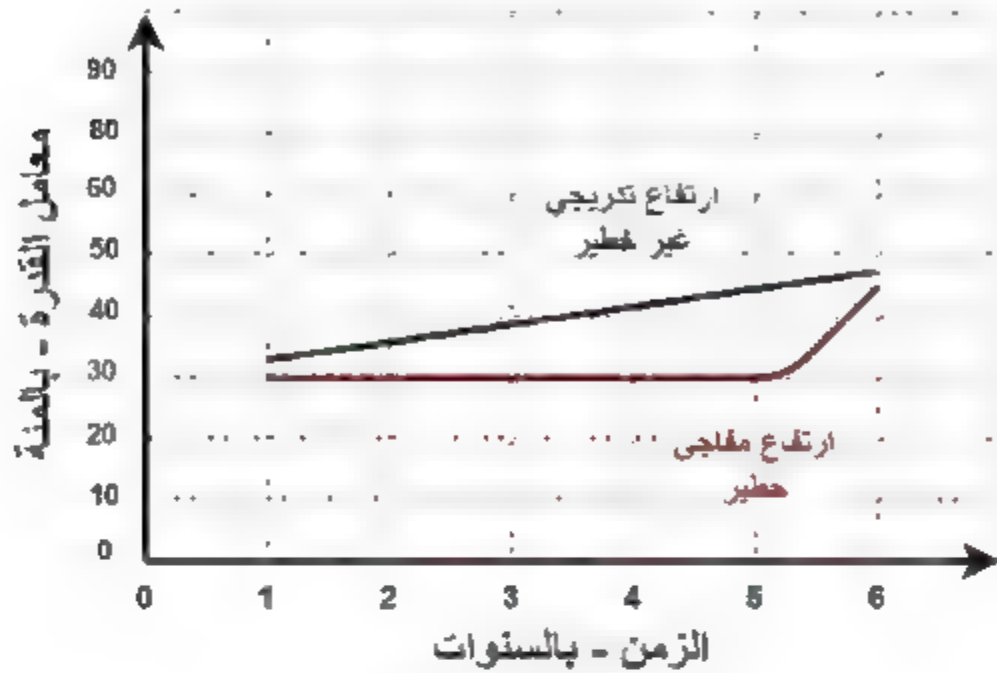
يهدف فحص معامل التبديد/القدرة إلى معرفة مدى جودة وكفاءة العزل الكهربائي للمحول وحال الإحتراق (Bushing)، وتكون قيمة هذا الفحص على شكل نسبة مئوية من تسفر إلى مئة بحيث يدل لصفراً على أن مادة العزل نظيفة وجافة ولاحتوي على فقاعات وكذلك، حاله من أية دلالة، على أن هذه المادة غير قادرة على القيام بالعزل المطلوب

لذلك وبعد تصحيح القيم المقاسة وفقاً لما تم شرحه في الفقرة السابقة مع التذكير بأن خطوة غير برسية حيث أنه يصبح بإجراء هذا الفحص عن درجة حراره قراءة (20°) درجة مئوية، يتم تحسين نتائج الفحص بعدة طرق كالآتي

8.1 الطريقة الأولى: مقارنة نتيج الفحص بسايق سابقة المقاسة (سايح الفحوصات المصغرة (FAT) أو الموقعة (SAT) أو أرونية)، وفي حال وجود مجموعة سايح سابقة يمكن مقارنة هذه السايح وتبع اختلافها مع الزمن (Trend)

عند مقارنة سايح الفحص للمحول أو حائل الإحتراق (Bushing) بسايح فحص سابقه لنفس المحول أو عازل الإحتراق يجب التأكد من عدم وجود تغير في قيمته معامل التبديد/القدرة أو مواسعه، بحيث أي تغير يستلزم بحث معمق سيتم اتحدث عنه لاحقاً بشكل مفصل. ولكن عند مقارنة قيمتي الفحص فقط (حالية و سابقة) فإن تحليل النتائج قد يكون معيب ومضلل، حيث أن نتيجة فحص سابقة واحدة قد لا تكون كافية لكشف عن وجود عطل ولحزم بذلك فكم يظهر بالشكل (21-5) هناك حالتي: الحالة الأولى لمحول معامل القدرة الخاص به يرتفع بشكل طفيف وتدرجي مع الزمن بشكل غير خطر وهو ما يمكن ملاحظته بوجود نتيجة فحص سابقة واحدة علماً بأنه دليل على عطل غير خطر، أما الحالة الثانية

وهي لمحوون معامل القدرة الخاص به ثابت مع الزمن ولكن يرتفع بشكل مفاجئ ويختر بعد فترة من الزمن وهو ما لا يمكن ملاحظته بسهولة في حال كانت هناك نتيجة فحص سريعة واحدة.



الشكل رقم (5-21)

أما إذا كان هناك نتائج فحص سريعة أكثر كلما زادت كمية جابيلها من خلال رسم وتبع، فنتج، فنتج هذه النتائج مع الزمن (Trend).

وكذلك لعل قيد فحص قيمة فحص المو سعة (Capacitance)، حيث أن قيمة السابيل المسموح بها هي خمسة بالمئة (5%) والمئة بها عدد رتتها بقيمة المعوضات المصنعية أو المولدة أو روتية السابيل كما ورد بالمعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.152-2013]، أما المراجع [Jill C. Duplessis, Electrical Field Tests for the Life Management of Transformers] فقد حدد قيمة القبول الخاصة بفحص مو سعة (Capacitance) ما مقداره (1%) بالمئة من قيمة المعوضات السابقة، والتي قيمة تباين كبير من ذلك تعتبر غير مقبولة وسبب في تحديث عميق في أسباب الاختلاف، أما المحولات القديمة (أي الأكبر من 40 عام) فقد تصل قيمة السابيل المسموح بها إلى (2%) بالمئة.

8.2 الطريقة الثانية مقارنة نتائج الفحص بقيمة مرجعية موصى بها غير معايير ومراجع عالمية أو من قبل المصنعين (Manufacturers)

كفاءة عمه عادة ما تكون قيمة معامل القدرة أقل من (0.5%) بالمئة عند درجة حرارة (20°) مئوية لمنظومة العزل بين ملفات القوية المرتفعة والمنخفضة أو بين الملفات والأرضي للمحولات الجديدة، أما قيد فحص المحولات القديم فإن قيمة معامل القدرة قراءة (1%) تعتبر نتيجة مقبولة نوعاً ما خاصة في حال لم تكن هناك قيم مرجعية مُسبقة، وقد تزيد قيمة هذا الفحص لبعض حالات الخاصة

كالمحولات القديمة جداً أو كالي تستخدم حزل الـ (Varnished-cambic) لي قد تصل قيمة معامل القدرة لها أكثر من (4%) بالمئة عند درجة حرارة (20°) مئوية.

من سبق يمكن تقييم حالة العازل بشكل عام معتمدين أكثر على الخبرة مما جعل هذا لتقييم قليل لدقة، لذلك لابد من الرجوع لمعاهد والمجان الكهربائية العالمية في هذا الشأن فقد وردت لكثير من المعايير (Standards) و المراجع العلمية بعض الغموض المرجعية لهذا الفحص والتي يمكن الإعتماد عليها في تقييم حالة محولات ككل أو عوازل إحراق هذه المحولات (Bushings)، وسنفي اختيارنا من هذه المعايير المعتمدة على وحدة أو أكثر من هذه القيم المرجعية وفقاً للخبرة أو لمعايير المعمور بها في المنشأة أو كما هو موصى به من قبل المصنعين (Manufactures)

ملحوظة (5-12): كما ذكر سابقاً فإنه يمكن التعبير عن نتيجة هذا الفحص بنسبة مئوية أو رقم من واحد لمئة، فربما ذكر مثلاً أن معامل القدرة / التنديد (1%) فهي نفسها (100) و قد ذكر (0.5%) فهي نفسها (50) وهكذا



✓ المحولات المغمورة بالزيت

عادة لا يتم تصميم قيم محددة لهذا الفحص من قبل مصنعي المحولات في لوحة البيانات الخاصة بالمحول فيما يخص المحول ككل وذلك لصعوبة تقييم المادة العازلة بالمحول، ولكن حسب الخبرة فإن قيمة المواسعة ملفات المحول تتراوح من عدة (nF) نانوفاراد إلى عدة عشرات من (nF)، فبالرجوع إلى المعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57 152-2013] يمكن إيجاد جدول (5-7) التالي فيما يخص القيم المرجعية لمعامل القدرة للمحولات المغمورة بالزيت فصححة (Corrected) للدرجة حرارة (20°) درجة مئوية للمحولات ذات الزيت المعدني، أما محولات زيت الإسبر فإن القيم لم يتم تصحيحها القيمة المعطاة عن هذا الزيت لهذا الخصوص.

الجدول رقم (5-7)

نوع زيت المحول	قولية المحول	الحد الأعلى لقيمة معامل القدرة (للمحولات الجديدة)	الحد الأعلى لقيمة معامل القدرة (للمحولات القديمة)
زيت معدني Mineral oil	< 230	0.5%	1.0%
	≥ 230	0.4%	1.0%
زيت طبيعي Natural ester	All	1.0%	1.0%

أما فيما يخص قيمة فحص المواسعة المحولات فإن ذات المعيار [IEEE, C57.152-2013] أورد لفهم الفصمه في الجدول (5-8) التالي.

الجدول رقم (5-8)

الإختلاف في قيمة المواسعة المقاسة	حالة المحول
أقل من 5%	حد
5% - 10%	يحتاج لمبحث حول أسباب ارتفاع القيمة
أكثر من 10%	إخراج المحول من الخدمة وإجراء بحث مُعمّق

وكذلك يمكن إيجاد حدود (5-9) التالي والصادر عن شركة (MEGGER) والفُحص في المكتب التخصصي لفحص تجهيز الفحص (DELTA2000 Manual) فيما يخص نتائج فحص معامل التمدد/القدرة النموذجية للمحولات المغمورة بالزيت.

الجدول رقم (5-9)

المحول تحت الفحص	مستوى العولنية	القيمة النموذجية لمعامل التمدد/القدرة
محول جديد	أكبر من 115 كيلوفولت	0.25% - 1.0%
محول قديم (أكبر من 15 سنة)	أكبر من 115 كيلوفولت	0.75% - 15%
محول توربين	فولتية منخفضة	1.5% - 5%

وأيضاً يمكن الاعتماد على حدود (5-10) أورد في المرجع [Jill C. Duplessis, Electrical Field Tests for the Life Management of Transformers] فيما يخص تحليل نتائج هذا الفحص للمحولات المغمورة الزيت بـ ١٠٠ سعة الأكبر من (500kVA) كيلوفولت أمتر

الجدول رقم (5-10)

نتيجة فحص معامل التمدد/القدرة	التقييم
0.2% - 0.3%	مثالي
أقل من 0.5%	جيد
0.5% - 0.7%	متدهور نوعاً ما
0.5% - 1%	يحتاج لمبحث
أكثر من 1%	غير مقبول (لا يجب وضعه بالخدمة)

✓ عوارل الإختراق (Bushings)

عادة ما يتم تصميم قيم محددة لهذا الفحص من قِبل مُصنعي عوارل الإختراق (Bushings) في لوحه لسبب لخاصة بها (Nameplate) والتي تكون بمثابة مرجع في عملية التحليل، اشكل (5-22) يبين نموذج لوحه بيانات عارل إختراق (Bushing Nameplate) مُصنّع من قِبل شركه (PASSONI VILLA) الإيطالية و اممبوكة حاليا اشركة (GENERAL ELECTRIC) الأمريكية

PASSONI VILLA MILAN ITALY SERIAL NR YEAR
 PASSANTE BUSHING TRAVERSEE D'IRCHFUR NG
 TYPE
 STD REF 50/60Hz
 Um kV BIL SIL AC kV r A
 PF PF AT 10kV 20°C
 kV

الشكل رقم (5-22)

من لوحه البيانات الخشبية في الشكل لسابق يُمكن إيجاد قيمة معامل لقدره (PF) وكذلك بموسعة لرئيسية الخاصة بهذا العارل (CI) حيث، وبالرجوع إلى بعض الكتب، التمهيدية (Manuals) الخاصة بهذا النوع من العوارل، كتلت اصادرة عن إحدى كبرى الشركات المُصنعة لعوارل الإختراق كشركة (ABB) فإن، بخلاف، قيمة الموسعة (CI) بمقدار (3%) بامتة عن القيمة المُصممة في لوحه بيانات فيه بذل على وجود مشكلة "وية في هذا العارل (Partial puncture) أم بالرجوع لمرجع (Paul Gill, Electric Power Equipment Maintenance and Testing) فإن قيمة التدهين المسموح بها عند مقدرة نتيجة الموسعة المتوقعة بفيحة الموسعة المُصنعة بلوحه البيانات الخاصة بعارل الإختراق هي (±10%) دالمئة

كما وأوردت المعيار المناهية مجموعة من القيم المرجعية التي يُمكن الإعتماد عليها في تحيين نتائج هذا الفحص ككتاب، معايير اصادرة عن معهد مهندسى الكهرباء و الإلكترونيات [IEEE, C57.19 01-2017] فيما يخص الحدود، على هذا الفحص بالإضافة إلى قيمة التدهين المسموح بها لعوارل الإختراق المُختلفة كما هو مُبين في الجدول (5-11) عند درجة حرارة (20°C) درجة مئوية.

الجدول رقم (5-11)

نوع عارل الإختراق	معامل القدرة عند (20°C) درجة مئوية		المواسعة
	الحد المسموح به (%)	التغير المسموح به (%)	التغير المسموح به (%)
OIP	0.50	+0.02 / -0.04	±1.00
RIP	0.85	±0.04	±1.00
RBP	2.00	±0.08	±1.00
Cast insulation	1.00	±0.04	±1.00

الجدول (5-12) يُبين الحدود العليا لمُحسّ معامل السدّد عند تطبيقه على عوّل الإختراق لمختلفة كما جاء في المعيار الصادرة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60137-2017] والمُحسّ الدولي للأنظمة الكهربائية الكبر [CIGRE, Guide for Transformer Maintenance 445] عند درجة حراره (20°) درجة مئوية والتردد الاسمي (50Hz) هيرتز أو (60Hz) هيرتز

الجدول رقم (5-12)

نوع عازل الإختراق	معامل التبديد (%) عند (20°) درجة مئوية	
	CIGRE	IEC 60137
OIP	0.2 - 0.4	< 0.7
RIP	0.3 - 0.4	< 0.7
RBP	0.5 - 0.6	< 1.5

الجدول (5-13) يُبين القيم المسموح لمُحسّ معامل السدّد عند تطبيقه على عوّل الإختراق من نوع (OIP) و (RIP) كما جاء في نشر التقنية الصادرة عن شركة (ABB) المُصنعة أعوار الإختراق

الجدول رقم (5-13)

معامل التبديد	التقييم
0 - 25%	جيد
25% - 40%	بحاجة لبحث وإعادة الفحص
40% - 75%	بحاجة لمُحسّ، فعمق وإعادة المُحسّ بعد شهر
أكثر من 75%	غير مقبولا ويجب إخراج عازل الإختراق من الخدمة

كما وتُشير الإشارة إلى مجموعة من القيم المرجعية الخاصة بهذا المُحسّ وفقاً لنوع والشركة المُصنعة أعوار الإختراق (Bushing) والمُحسّ في الملحق رقم (5-5) كما ورد في النشر لتقنية [USBR, Testing and Maintenance of High-Voltage Bushings Vol 3-2].

8.3 الطريقة الثالثة: مقاربه نتائج المُحسّ نتائج فحص المُعدّة شُشابهة تماماً (Twin or Sister)

هذه الطريقة تم من خلال مقاربه نتائج المُحسّ المُقاسمه بنسج فحص لمُحول مشابه تماماً بأحوال ومُعدات والتشغيلية والبيئة المحيطة أيضاً على أن لا تتجاوز قيمه السابقين المُقيّم سابقه لذكر

ملحوظة (5-13). عند إجراء هذا المُحسّ وتم ملاحظة اختلاف في قيمه معامس التبديد / القدرة وكذلك المو سمعه معاً فإن ذلك يُعد دليلاً على رطوبة المادة اعارله، أو في حال كان الاختلاف فقط نتيجة فحص معامس التبديد/ اقدره فإن ذلك يدل على تدهور المادة اعارله نتيجة الإجهاد الحراري أو تلوثها بمواد أخرى غير الرطوبة [MEGGER, DELTA2000 Device Manual]



9. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

هناك عدة عوامل مؤثرة على نتيجة هذا الفحص والتي لا تُد من الإحاطة بها من أجل تحسُّد تأثيرها أو التخفيف منه على الأقل، ومن هذه العوامل:

9.1 تأثير الكوابل والبسبارات – Effect of cables and busbars

يُبقى الكوابل أو مجمعات البسبارات (Busbars) مُتصلة بمحاور احتراق المحو، (Bushings) أثناء الفحص قد يؤثر على نتيجة فحص المواسعة، فكما هو معلوم أن المواسعة تعتمد على حجم بلام العزل وبالتالي فإن بقاء هذه الكوابل ومجمعات البسبارات بالإضافة إلى أي حراء أخرى موصولة معها مثل عو، لثبب (Support isolators) من شأنه زيادة قيمة المواسعة المُقدمة من خلال هذا الفحص حاديه لمركبه العزل بين الملفات و الأرض (CH و CL).

9.2 تأثير زيت المحول – Effect of mineral oil

يجب مراعاة ألا يكون المحو مُفرغ من الزيت عند الفحص بحيث أن قيمة المواسعة تتدسب نظرياً مع ثابت العزل (Dielectric Constant) الذي يختلف من مادة لأخرى، إذ أن ثابت العزل الخاص بالهواء أقل من نصف قيمة ثابت العزل الخاص بالزيت لذلك فإن قيمة المواسعة للمادة العازلة داخل المحول المُفرغ من الزيت أقل من قيمة المواسعة للمحول المملء بالزيت.

ومن جهة أخرى ولأسباب تتعلق بأسلامة فإنه لا يُصح إجراء هذا الفحص في حال كان المحو مُفرغ من الزيت حوفاً من وجود غازات هسة للإشتعال ونسجه لظهور شرارة قوس كهربائي أثناء الفحص مما قد يتسبب بمتفجر حراء وفي حال ردنا حراء هذا الفحص على المحول وهو مُفرغ من الزيت يجب تطبيق فولتية منخفضة (10%) بامئة على فولتية الفحص الإخمادة بالإضافة إلى إناك أن الهواء داخل حو، المحول لا يحوي على غازات هسة للإحتراق وذلك عن طريق حقن غاز استروحين الحاء عوضاً عن هواء مُعطل سسه غاز لأوكسجين إلى أقل من (2%) بالمئة، وبالإضافة إلى ذلك فإنه يُصح إجراء الفحص في حال كان الضغط الداخلي لخزان المحول أقل من الضغط الخارجي أي أن المحول مُفرغ من الهواء أيضاً (Under Vacuum).

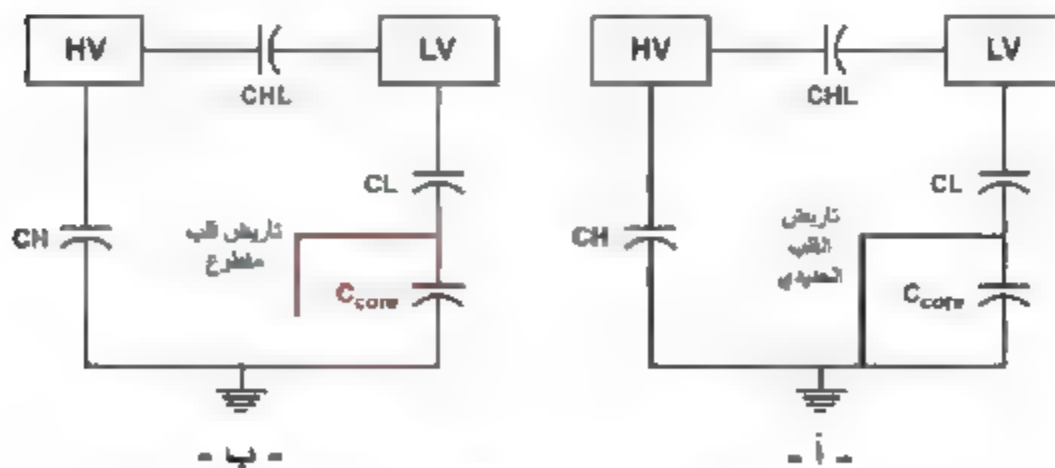
الاول (14-5) يُبين عص قيم فوائبات الفحص عند إجراء هذا الفحص على المحولات المُفرغة من الزيت مع إجراء أشد كما ورد في الكتيب التفصيلي الخاص بخطوات الفحص [Doble Test Procedure, 72A-2244 rev.A] الصادر عن شركة (Doble)

الجدول رقم (5-14)

فولتية الفحص المقترحة بالكيلوفولت (Line to Ground kV)	الفولتية الاسمية لملفات المحول بالكيلوفولت (Line to Line kV)	نوصية ملفات المحول
10	أكثر من أو يساوي 161	مثبت (Delta - Δ) أو نجمة (Star - γ) غير مؤرضة
5	115 - 138	
2	34 - 69	
1	12 - 25	
0.5	أقل من 12	نجمة (Star - γ) مؤرضة أو أحادي محور مع نقطة تعادل
1	أكثر أو يساوي 12	
0.5	أقل من 12	

9.3 تأثير فقدان تأريض القلب الحديدي - effect of loss of core ground

كما م. شرحه في الفصل الأول فإنه يتم تأريض القلب الحديدي للمحول وذلك للتخلص من التيارات الدوارة وما ينتج عنها من حرارة، وهذه الحرارة هنا الفحص يجب التأكد أن القلب الحديدي موصول بالأرض تجنباً لتأثيره على قيمة المواسعة الفعالة، فكما هو مبين بالشكل (5-23) عندئذ يكون القلب الحديدي غير موصول بالأرض فمما فمواسعة القلب الحديدي الأرض (C_{core}) على التوالي مع مواسعة ملفات لفولتية المنخفضة ولأرض (CL) مما يعني قيمة مواسعة مكافئة أقل من تخيلية



الشكل رقم (5-23)

في الشكل (5-23، أ) تُشكل وصله تأريض دائرة قصر (SC) على مواسعه لقب ذلك لا يؤثر قيمه هذه لمواسعة على قيمة مواسعة ملفات الفولتية المنخفضة (CL)، أما في حال وجد قطع بالأرضي الخاص

بالقلب الحديدية في مواسعة القلب (C_{core}) تكون على التوالي مع مواسعة الملفات القولية المتحصصة (CL) مما يفسر ظهور مواسعة مكافئة (C_{eq}) أقل من قيمة (CL) المطلوبة

ملحوظة (5-14). كما وتُجدر الإشارة إلى أنه في حال ترك نقطة التعادل ($Neutral$) الخاص بملفات القولية المتحصصة موصولاً بالأرض أثناء الفحص سيؤثر ذلك على قيمة المواسعة (CHL) المقاسة



9.4 تأثير عوازل الإختراق على نتيجة الفحص – Effect of bushings

بالرجوع إلى ما تم شرحه مسبقاً فإن قيمة معامل التبديد/القدرة هي قيمة متوسطة وعامة، لذلك عند فحص محولات ككل فإن عوازل الإختراق ($Bushings$) الموصولة بمحول تؤثر على فحص إما بزيادة قيمة معامل التبديد/القدرة أو بإنقاصه كالآتي

- في حال كانت عوازل الإختراق الموصولة بمحول ذات قيمة معامل قدرة مُتدني وملفات المحول كانت قيمة معامل القدرة لها مقبولة، فإن نتيجة النهاية للفحص قد تكون مُتدنية نتيجة تأثير عوازل الإختراق على الفحص، مما يُعطي بضغط أن المحول ككل ذو قيمة معامل قدرة غير مقبولة وهذا غير صحيح حيث أن الملفات سببه ولكن لمشكلة بعوازل الإختراق فقط
- في حال كانت ملفات المحول ذات قيمة معامل قدرة مُتدني وعوازل الإختراق المحول ($Bushings$) كانت قيمة معامل القدرة لها مقبولة، فإن نتيجة النهاية للفحص قد تكون مُتدنية نتيجة لتأثير الملفات على الفحص، مما يُعطي بضغط أن المحول ككل ذو قيمة معامل قدرة غير مقبولة وهذا غير صحيح حيث أن عوازل الإختراق سببه ولكن لمشكلة بالملفات ونكسر المشكلة الرئيسية في حال أن عوازل الإختراق السببة أثرت على الفحص وجعلته ضعيفاً ككل مما يترك الكشاف عن وجود مشكلة بعزل الملفات

في هذه الحالة ولتخص من تأثير قيمة معامل القدرة الخاص بعوازل الإختراق ($Bushings$) على قيمة معامل القدرة للملفات، فإنه يتم اللجوء إلى طرح تأثير عوازل الإختراق وذلك بإتباع الخطوات التالية في حال أردنا تأثير عوازل إختراق المولتية لمربعة ($HV Bushings$) على ملفات المولتية المربعة للمحول (CH)

- ✓ قياس قيمة معامل القدرة المركبة العزل الرئيسي (CI) لجميع عوازل الإختراق حتى الخاصة بنقطة التعداد في حال كانت الملفات موصولة على شكل نجمة ($Star - Y$)
- ✓ تسجيل قيمة التيار ($Current$) بالملي أمبير وكذلك قيمة الخسائر بالقدرة ($Watt loss$) بالواط لجميع عوازل الإختراق
- ✓ جمع قيمة التيار عوازل الإختراق جميعها وكذلك قيم الخسائر في القدرة ($Watt loss$)
- ✓ قياس قيمة معامل القدرة للمحول ككل (مع عوازل الإختراق).
- ✓ تسجيل قيمة التيار ($Current$) بالملي أمبير وكذلك قيمة الخسائر في القدرة للمحول ككل

- ✓ طرح قيمة التيار الكلي عوارل الإحتراق من قيمه تيار الكلي للمحول.
- ✓ طرح قيمة الحسائر في القدرة الكمية لعوارل الإحتراق من قيمه الخسائر في قدره للمحول ككل
- ✓ حساب قيمة معامل القدرة لمعدات لوحدها بالإعتماد على قيمة التيار وحسائر القدرة
- لمحتسبة على إعتبار أن الفحص تم على (10kv) كمتحولات وفقاً لمعادلة التالية

$$PF\% = \frac{Watt\ loss}{Test\ voltage \times leakage\ current} \times 100 \quad (5.23)$$

لجدول (5-15) يوضح مثل على طرح تأثير عوارل الإحتراق على القيمة الكلية لمعامل القدرة للمحول، على التبرص أن القيمة المُحصَنة معامل القدرة للمحول هي (0.48%) بالمئة وأردت إزاله تأثير عوارل إحتراق الفولتية المرتفعة (HV Bushings)

الجدول رقم (5-15)

المواسعة الكمية لعوارل الإحتراق (Cl)	التيار المتسرب	حسائر العازل (watts)	قيمة معامل القدرة المُحتسبة (%)
H1	2.72	0.204	0.75
H2	2.61	0.155	0.59
H3	2.62	0.277	1.06
H0	2.60	0.092	0.35
مجموع تأثير عوارل إحتراق المرتفعة	10.55	0.728	-
CL	46.14	2.21	0.48
CL بعد طرح تأثير عوارل إحتراق الفولتية المرتفعة	35.59	1.482	0.42

من لجدول السابق يُمكن ملاحظ نحس قيمة معامل القدرة للمحول بعد إزالة تأثير عوارل الإحتراق على قيمة فحص معامل القدرة للمحول، حيث أن قيمة معامل القدرة للمحول ككل كانت (0.48%) بالمئة وأصبحت (0.42%) بالمئة.

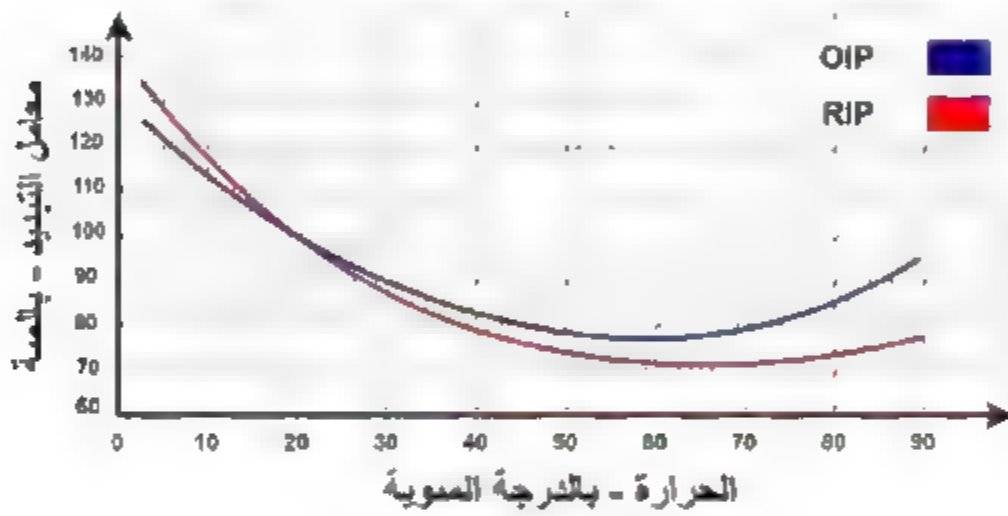
9.5 تأثير إستبدال عوارل الإحتراق أو زيت المحول - Effect of bushings or oil changing

كما هو معلوم أن عوارل الإحتراق وزيت المحول يُعد من المكونات الرئيسية لمنظومة العزل، لذلك عند إستبدال عوارل إحتراق قديم واحد آخر جديد ذو نوعاد هندسية ومنظومة عزل مختلفة عن عوارل الإحتراق القديم، فإنه من المؤكدا الحصول على نتيجة فحص مُنسبة من سابقتها من نتائج، وفي هذه الحالة يجب الإكتفاء بإجراء هذا الفحص من جديد وحفظ نتيجته كقيمة مرجعة للفحوصات لقائمة

وكذلك إخراج قنينة يخصص زيت المحول فيه في حال استعمال زيت المحول بريت جديد معدني أو سيليكوني أو طبيعي كالإسبرتر أو غيره من ريتوت فإنه من المؤكد الحصول على سيحة فحص شتائية عن سائدها من السائح، ويعود سبب ذلك لإختلاف ثابت العزل (Dielectric constant) لهذه الأنواع عن بعضها البعض.

9.6 تأثير درجة الحرارة – Effect of temperature

كما ذكر سابقاً فإن حساسية المادة العازلة تتأثر بدرجة الحرارة، حيث أن المعيار الشائع لدرجة حرارة الجو المحيط (Ambient temperature) والذي سوف نستخدمه كمتغير في درجة حرارة المحول هو عازل الإحتراق (Bushing) سيؤثر على قيمة معامل السدب / القلعة الشكل (5-24) يوضح إختلاف قيمة معامل السدب باختلاف درجة الحرارة لعوازل الإحتراق من النوع (OIP و RIP).



الشكل رقم (5-24)

ومنه فإنه لا يصبح بإجراء هذا الفحص في درجة حرارة جو محيط (Ambient temperature) أول من درجة حرارة تكوّن قطرات الندى (Dewpoint temperature)، حيث أنه لو افترضنا وجود شق (Crack) في سطح المادة العازلة الخارجي وكان هناك ماء في هذا الشق، وكما هو معلوم فإن لندى تحت درجات تكوّن قطرات لندى تكون قد تحول لجديد، وهذا الجليد يختلف خصائصه تماماً عن ماء وأهمها فقدانه لموصية الكهربائية حيث أن موصية الحجمية (Volumetric Resistivity) أي مقاومة المرور للبرق السري من خلاله أكبر منه (144) مرة من الماء مما يعني ظهور سيحة فحص موصية ولا يعكس الحالة الحقيقية للمادة العازلة.

لذلك ولحجب تأثير درجة الحرارة فإنه يُصحح بالآتي

- ✓ إجراء هذا الفحص في أوقات متأخرة من الصباح إلى منتصف الظهرية لحجب درجات الحرارة المتدنية وما ينتج عنها من تأثير على سيحة هذا الفحص، أو تأجيل الفحص يوم آخر شمس وصافي في حال لم تتوفر الشروط المناسبة.
- ✓ إجراء الفحص بعد فصل المحول مباشرة أي قبل نزول درجة حرارة المحول.
- ✓ تعطية المحول وتسلط هواء ساخن لرفع درجة حرارته قبل الفحص

9.7 تأثير تيار التسرب السطحي - Effect of Surface Leakage Current

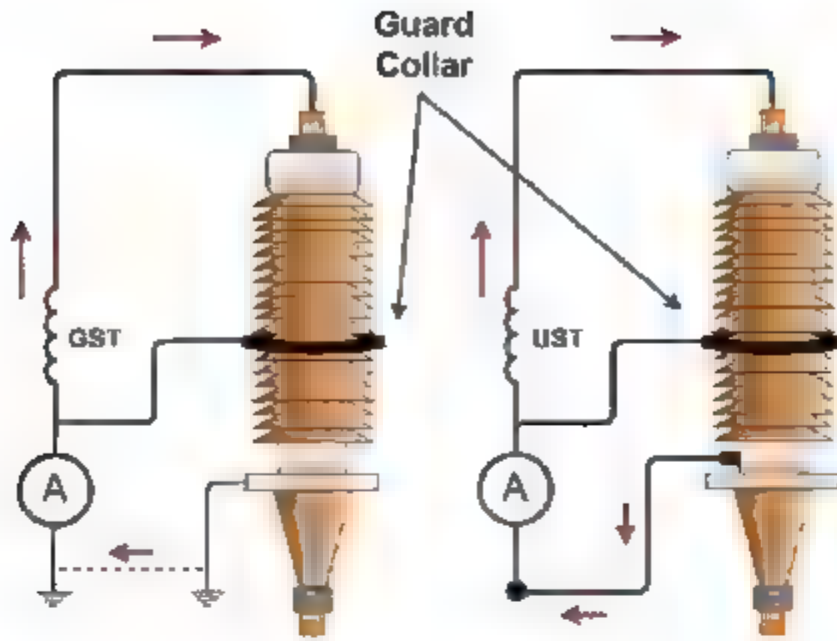
إن أغلب محولات القدرة المعمورة بأرض عادةً ما تكون بالحارح (Outdoor) مما يعني تعرضها لعوامل جوية احترافية ومن أهم هذه العوامل الحرارة بالإضافة للرطوبة والملوثات كالأبخار وغيرها من الملوثات، لذلك يجب لأحد معين، لإعتماد هذه العوامل عند إجراء هذا الفحص خاصة وأنها جميعها تؤثر على نتيجة هذا الفحص بطريقة أو بأخرى، فمثلاً درجة الحرارة من شأنها تغيير خصائص احادة العزل الكهربائي مما يؤدي لتأثير على قيمة هذا الفحص كما يتم سرجه سابقاً والتفصيل من تأثير درجة الحرارة على الفحص هناك طرق تصحيح القيمة المقاسة كتلك المذكورة في فقرة تصحيح قيمة المقاسة، ولكن التحدي الأكبر هو التخلص من تأثير الرطوبة حيث أنه لا يوجد معام تصحيح خاص بالرطوبة أي أنه لا يمكن تصحيح قيمة معامل التبيد/القدرة المقاسة عند درجة رطوبة معينة

ولكن قبل الخوض في الأمور الواجب مراعاتها للتخلص من تأثير الرطوبة لا بد أولاً من معرفة كيف يؤثر الرطوبة على قيمة معامل التبيد/القدرة، إن زيادة مستوى الملوثات على سطح العازل بالإضافة لزيادة نسبة الرطوبة الجوية منه يشا تيار تسري على سطح العازل (الموصلات الحارح) لعزل الاحتراق على سبيل المثال من شأنه التأثير على نتيجة الفحص ولكن بصورة شديدة ودرجاً لإعتدلت كثيره منها.

- ✓ عند إجراء هذا الفحص بأسلوب لعمية غير لمؤرضه (UST) فإن تأثير هذه التيارات التسريية يمكن إهمالها على التقبض من الفحص بأسلوب العمية المؤرضه (GST)
- ✓ عند إجراء هذا الفحص على معدات ذات مواسعة كبير كمحولات القدرة على التقبض من المعدات ذات المواسعة الأقل كمعزل الاحتراق (Bushings) وحاربات للصواعق (Surge Arrestor) وذلك لأن الصباعات في القدرة كبيرة لمحولات القدرة مما يجعل لخسائر الناتجة عن التيارات التسريية مهمة ولا تؤثر على قيمة الفحص.
- ✓ لاجوء على المحولات وعوزل ختر فيها من هذه التيارات التسريية حيث أن لمحولات عادة ما تكون حاربات مربعة مما يساهل رطوبة سطحها حيث أن الرطوبة الجوية لا تتكثف على الأسطح الدافئة وهذا بدوره يقلل قيمة التيارات التسريية.
- ✓ إذا كان سطح العازل نظيف فإن رطوبة سطح العازل لا تشكل عائقاً لإجراء الفحص حراً لتأثيرها الضئيل

لذلك ولتخلص من تأثير هذه التيارات التسريية يمكن إتباع الآتي.

- ✓ تنظيف سطح العازل (الموصلات الحارح) لعوزل الاحتراق عادةً مما يقلل من الصباعات
- ✓ إجراء فحص أثناء رطوبة جوية مناسبة علماً بأن نسبة الرطوبة (50% - 70%) بامتة تعتبر متوسطة وأكثر من (70%) بالعمية تعتبر مرتفعة كقاعدة عامة
- ✓ استخدام الحاربات (Guard Collars) على حلقات العازل السفلية قدر الإمكان (Bottom Skirt) لتحييد قيمة تيارات التسرب السطحي كما هو مبين بالشكل (25-5)



الشكل رقم (5-25)

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على نتيجة هذا الفحص غير العو من المستورة ما فإواني تُعد الأكثر شيوعاً، هذا يرجع إلى كتب [Jill C. Duplessis, Electric Field Tests for the Life Management of Transformers] والتي تم تصميمها في الملحق (5-6) وكذلك الأسور التي من شأنها تحديد تغيير على قيمة المواسعة المقاسة والتي تم تصميمها بالملحق (5-7).

10. مواطن العجز في هذا الفحص

فحص معامل تنبديد/لقدرة والمواسعة الخاص بالمواد العزلة ورغبه بشاره بشكل واسع وكذلك اعتماده من قبل اللجنة الكهرومغناطيسية الدولية (IEC) كأحد الخصائص المقصودة الموصى بها، إلا أنه يعاني من القصور في بعض المواطن كما هو مبين بالمقاط التالية

10.1 معامل التنبيد/القدرة - dissipation/Power Factor DF&PF

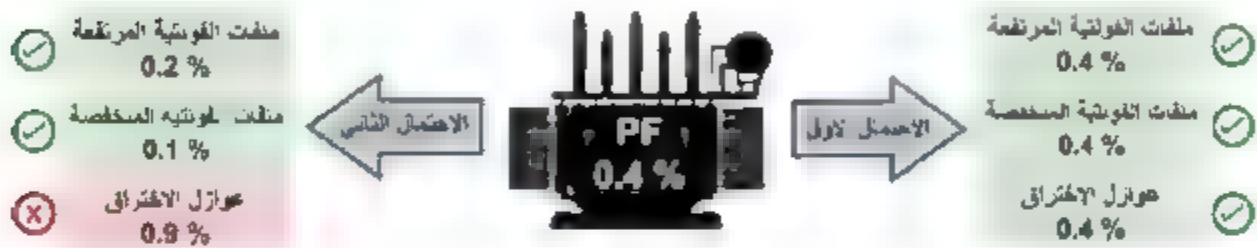
• قيمة معامل التنبيد/القدرة قيمة متوسطة (Average):

عند إجراء فحص معامل القدرة للمادة العازلة فإننا نقوم بقياس الحالة المتوسطة (Average condition) للمادة العازلة تحت الفحص، مما يعني وجود مشكلتين أساسيتين:

- ✓ صعوبة الرؤية . عند فحص مادة عازلة وعلى فرض أنها مقسمة إلى خمسة أقسام، فإن قيمة معامل القدرة لهذه المادة تُعبر عن الحالة المتوسطة (Average Condition) لهذه المادة ككل، مما يعني أنه لو كان معامل القدرة (0.2%) بالمثل للمناطق الأربعة الأولى ويسوي (1.5%)

المصنعة رقم خمسة فإن القيمة المتوسطة لمعامل القدرة تساوي (0.46%) ناهية وهي قيمة مقبولة نوعاً ما، ذلك أن يتم رؤية مشكلة اعباء في المنطقة رقم خمسة من العازل ذات قيمه معامل القدرة المساوي (1.5%) بالمتة.

✓ **صعوبة المميز** - نارجح المثل السابق فإن قيمة معامل القدرة الكلية المساوية (0.46%) ناهية تعني وجود احتمالين: **الإحتمال الأول** أن يكون العازل كله قد تقادم، أي أن المناطق الخمسة قيمه معامل القدرة لها (0.46%) ناهية، **والإحتمال الثاني** أن منطقة واحدة فقط ضعيفة (15%) ناهية و باقي المناطق وضعفها سليم (0.2%) ناهية، لذلك فإن القيمة المتوسطة معامل القدرة حاليه يساوي معرفة قيم إذا كانت امشكلة تخص العازل ككل أو أنها تخص منطقه محددة من العازل فقط.

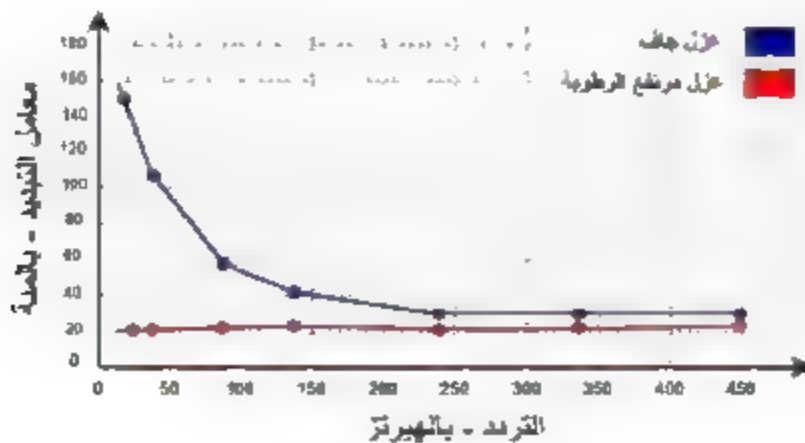


الشكل رقم (5-26)

• تردد الفحص:

في هذا الفحص يتم قياس معامل السندس/قدره عند التردد الإسمي المحلول، وهناك الكثير من النجود أكدر، وجود مجموعه من مشاكل العرب لا يتم كشفها إلا عند الترددات المنخفضة (15 Hz) أو لترددات المرتفعة (400 Hz)، وأن العنداسه الأقس حساسه هي منطقة التردد الإسمي (50/60Hz) وأنك عدد ما تُسمى بالنقطة العمياء (Blind spot).

اشكل (5-27)، يُبين تكرر تردد الفحص على قيمة معامل السندس، لعوازل إخراج الفولتية المرتفعة من نوع (OIP) وفقاً لما تم نشره في بحث [CIGRE, Guide for Transformer Maintenance 445] والذي يُظهر حساسية هذا الفحص عند ترددات اعباء مما يجعله ذو كفاءة أكبر في الكشف عن لشكل، المُتعلقة بالعزل



الشكل رقم (5-27)

لذلك يُصبح إجراء هذا الفحص عند أكثر من تردد وهو ما يُسمى بفحص (Variable Frequency Power Factor test - VFPF) وكذلك إجراء هذا الفحص أثناء عزل المحوّل (Offline) مما يتيح بحسب قيمة تردد الفحص المناسبة، وهذا بدوره لا يُسأل من شأن هذا الفحص (Online rated frequency PF test) ولكن تُشير إلى فئة حساسيتها وكفاءتها في الكشف عن المشاكل في المادة العازلة

• ضرورة وجود قيمة مرجعية (نتائج فحوصات سابقة):

في حال عام وجود قيم مرجعية من كفاءة تحسّل نتائج هذا الفحص وإحصائية الكشف عن وجود الأعطال في المادة لعزلها تلقى، فإن أهمية وجود القيم المرجعية تكمن في القدرة على إحصائه وتتبع تقدم المادة لعزله والكشف عن أية مشاكل حرجية قد يلحق بالمادة لعزله كارتفاع نسبة الرطوبة أو وجود أصغر فيزيائية لحقت بهذه المادة العازلة

10.2 المواسعة الكهربائية - Capacitance

- قيمة المواسعة الكهربائية ذات حساسية عالية لدرجة الحرارة، أي بحسب مراحله يختلف درجات الحرارة بين القراءات السابقة والحالية عند مقارنتها وتحليلها.
- قيمة المواسعة الكهربائية حساسة بشكل كبير لتلوثها بملوثات، مما يعني أن أي تغيير طفيف في قيمة المواسعة قد يعني وجود تغير فيزيائي كبير للمادة العازلة لذلك يجب أخذها بعين الاعتبار وعدم إهماله.
- ضرورة وجود قيمة مرجعية (نتائج فحوصات سابقة) أو قيم مُنسبة على لوحة البيانات بعدد المقارنة).

11. فحوصات إضافية داخلة

تُعتبر المحولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية إما أنها من دور في ديمومة سير العمل الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة الكهربائية جميعها بالإضافة إلى تكاملها المادية المرتفعة، لذلك لا يمكن إغفال على فحص فحص واحد لنفس حالة المحول والتي تعمل الإجراءات التصحيحية لهذا المحول، بل يجب فحص فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع الخلل بالضغط ثم بعد ذلك يُصار لعمل الإجراءات التصحيحية اللازمة لهذا المحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنّع هذا المحول.

فعند إجراء فحص بعض التردد/القدرة و (Capacitance و DF/PF) وكاتب نتائج الفحص غير مُرضية، فإنه يجب إعادة فحص بعد التأكد من جميع خطوات الفحص وسراعه بحسب الأمور التي قد تؤثر على نتيجة هذا الفحص، وفيما يخص عزل الإجراء فكما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهربائية الدولية [IEC 60137-2017] فإن يجب الانتظار لمدة ساعة قبل إعادة الفحص مع ضرورة تسجيل درجة الحرارة وفي حال الحصول على نتيجة أخرى غير مُرضية، لا يُنصح بوضع المحوّل بالخدمة قبل عمل بعض الحلي بالإضافة إلى عمل الإجراءات التصحيحية اللازمة ولكن لا بُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى للتأكد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحية ومنها كالآتي:

● معامل التليد/القدرة

- فحص معامل لقدرة تردد متغير (Variable Frequency Power Factor – VFPP)
- فحص معامل لصدرة بوقائية متبرجة (Stepped Voltage Power Factor or PF Tip-)

(Up

- فحص الإستجابة لرددية لصدرة العارلة (Dielectric Frequency Response – DFR)
- فحص العازب لصدرة في الرطب (Dissolved Gas Analysis – DGA)

● المواسعة

- فحص مفاعلة التمررب (Leakage Reactance)
- فحص تحسين الإستجابة لرددية لفسحي (Frequency Response Analysis FRA)

12. أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية

12.1 المثال الأول: الشكل (5-28) يبين قيم فحص معامل التليد/القدرة و المواسعة مصنعي (FAT) لمحور ثلاثي الأصوار ثنائي الملسد (Three Phase Two Winding) مودول صربية (YNd11) ذو مُنْغَر خطوة من نوع (DETC or OCTC)

Acceptance Test Results														
Transformer					AC INSULATION TESTS					Page No.				
Name					3 phase					Date				
Rated power MVA					Name					Date				
Oil temperature °C					Holding voltage kV					Oil temperature °C				
Insulation					Holding time min					Oil temperature °C				
OVERALL TESTS														
Measurements					Capacitance					Power factor %				
Temp No	Winding	Insulation	Ground	Oil voltage kV	C ₁ and C ₂ measurement				C ₃ measurement				Min. at 20°C	Capacitance at 20°C
					Winding	Insulation	Multiple	Oil	Winding	Insulation	Multiple	Oil		
1	W	W	W	0	30	30	1	30	4	4	0.4	0.8	0.20	1.4
2	W	W	W	0	65	65	1	1	7	3	0.1	0.3	1.3	1
3	W	W	W	0	8	78	1	78	9	9	0.4	1	0.20	1.4
4	W	W	W	0	56	56	1	56	5	5	0.4	2	0.22	1.4
5	W	W	W	0	98	98	1	98	4	4	0	0.4	0.22	1.4
6	W	W	W	0	4	4	1	4	9	3	0	1.6	0.21	1.4
BUSHING TESTS														
Measurements					Capacitance					Power factor %				
Phase	Serial No	Oil voltage kV	C ₁ and C ₂ measurement				C ₃ measurement				Min. at 20°C	Capacitance at 20°C		
			Winding	Insulation	Multiple	Oil	Winding	Insulation	Multiple	Oil				
H1		30	30	1	30	4	4	0.4	0.8	0.20	1.4			
2		65	65	1	65	7	3	0.1	0.3	1.3	1			
3		8	78	1	78	9	9	0.4	1	0.20	1.4			
H0		56	56	1	56	5	5	0.4	2	0.22	1.4			
4		98	98	1	98	4	4	0	0.4	0.22	1.4			
X2		27	60	22	1.74	3	3	0.07	0.30	0.07	0.30			
X3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

الشكل رقم (5-28)

12.2 المثال الثاني: الشكل (5-29) يُبين قيم فحص معامل التسديد / القدرة والمواسعة قصصبي (FAT) لمحولات ثلاثي الأطوار ثلاثي الملتفات (Three Phase Tertiary Winding) موصون بطريقة (YNd11-d11) ذو معيار خطوة من نوع (OLTC)

Measurement of (tan δ) dissipation factor of the insulation system capacitances					
Test results					
Tested winding	Earthing parts	Test voltage (kV)	Capacitance (pF)	Dissipation factor (tan δ) at 30 °C	Test method
1V	core, frame and bus enclosure	10	1000	0.21	Positive wiring
1V1		10	800	0.21	
1V2		10	800	0.21	
HV + 1V1		10	800	0.21	
HV + 1V1 + 1V2		10	2420	0.21	
1V to 1V1	only winding	10	800	0.21	Positive wiring
HV to 1V2	core, frame and bus enclosure	10	2259	0.21	
1V to 1V2		10	800	0.21	
AV to 1V		10	800	0.21	

الشكل رقم (5-29)

الملحق (5-1)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المُصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص معامل التبديد/القدرة والمواسعة باستخدام جهاز DELTA2000 10kV by MEGGER



الشكل رقم (5-1-1)

• مواصفات الجهاز: حسب (DELTA2000 manual).

- فولتية المدخل الاسمية 230 V, 50 Hz .
- نطاق فولمية المخرج : 0 إلى 12kV
- نطاق القياسات - حسب الجدول التالي

الجدول رقم (1-1-5)

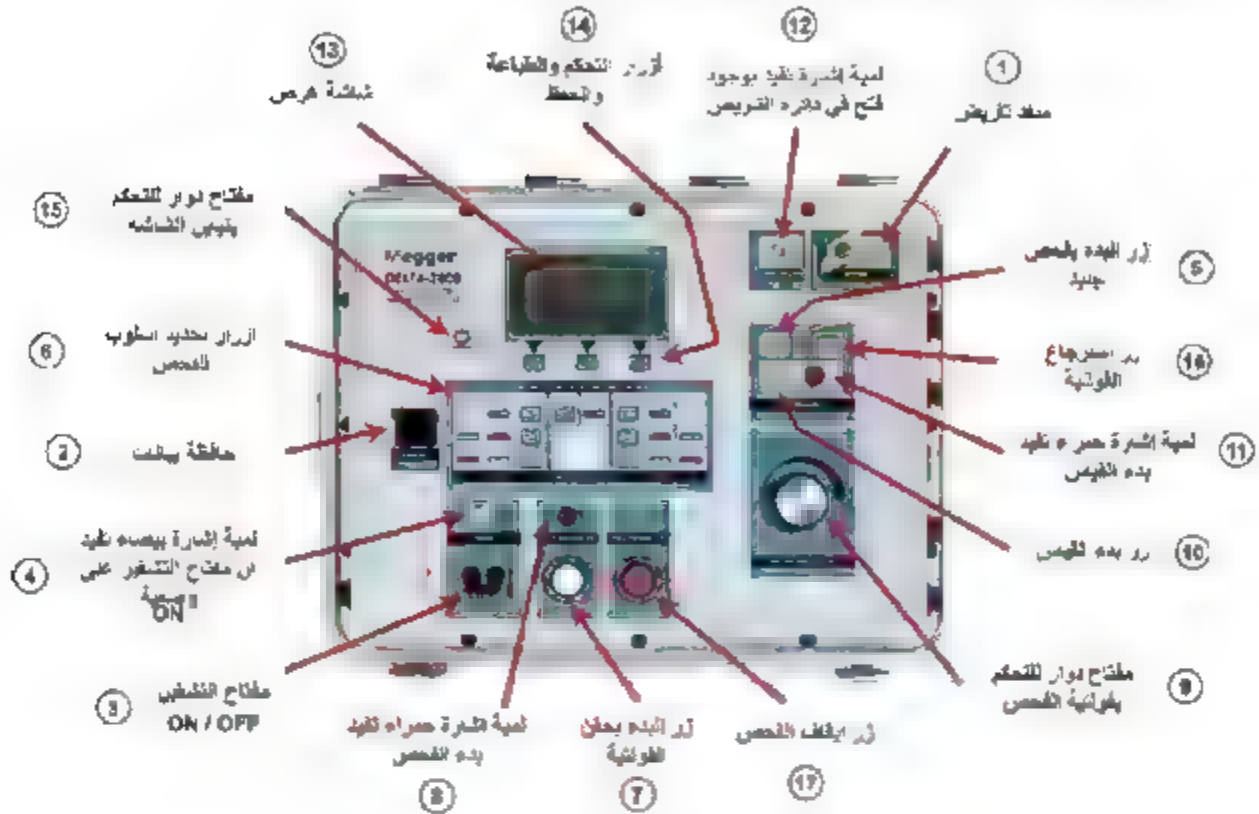
القيمة المقاسة	النطاق (Range)	درجة الوضوح (Resolution)	الدقة (Accuracy)
الفولتية	250 V – 12 kV	10 V	$\pm(1\% \text{ of reading} + 1 \text{ digit})$
التيار	0 – 5 A	1 μ A	$\pm(1\% \text{ of reading} + 1 \text{ digit})$
خو سعة	1 pF – 1.1 μ F	0.01 pF	$\pm(0.5\% \text{ of reading} + 2 \text{ pF})$ UST $\pm(0.5\% \text{ of reading} + 6 \text{ pF})$ GST
معايير التمدد	0 – 200%	0.01%	$\pm(2\% \text{ of reading} + 0.05\% \text{ DF})$
معامل التمدد	0 – 90%	0.01%	$\pm(2\% \text{ of reading} + 0.05\% \text{ PF})$
حسب القدرة	0 – 2 kW	0.1 mW	$\pm(2\% \text{ of reading} + 1 \text{ mW})$

- بيئة التشغيلية المحيطة 32° F to 122° F (0° C to 50° C) RH to 90%, Non condensing
- بيئة تخزينية محيطة -58° F to 140° F (-50° C to 50° C) RH to 95%, Non condensing
- أبعاد وحدة التحكم 381 x 559 x 406 mm :
- أبعاد وحدة الفولتية المرتفعة 381 x 559 x 406 mm :
- وزن وحدة التحكم 74 lb. (33 kg) :
- وزن وحدة الفولتية المرتفعة 63 lb. (29 kg) :

خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

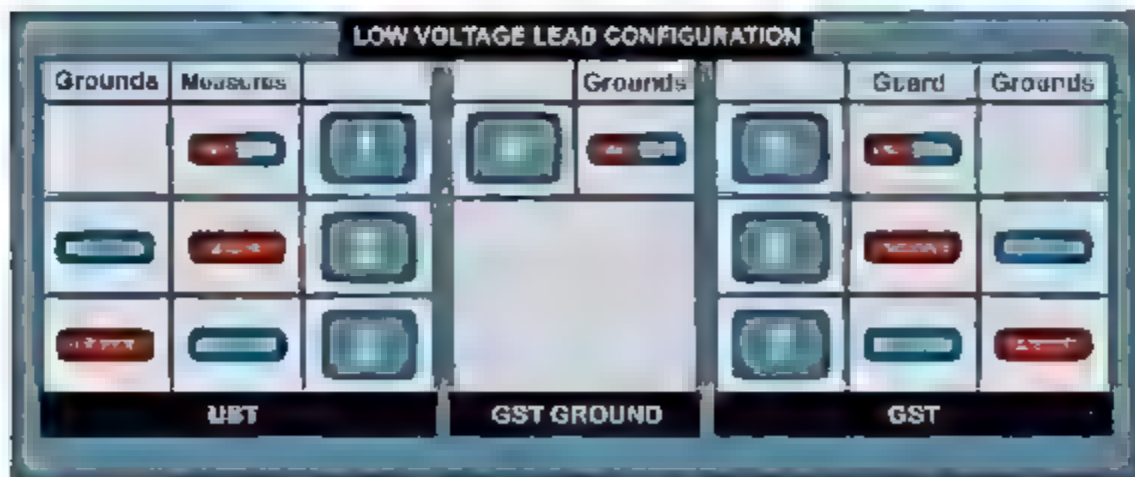
- 1 الماكد من تطبيق الخسوس (6.1 إلى 6.8) أو ردد في دفتر خسوس لمحص من فصل فحص معاصر، لتبييد/لقدره والمواسعة
- 2 لتأكد من أن لدائرة الفرد فحصه غير مكهربه وعدم وجود احتماليه كهربيته أثناء الفحص
- 3 بعد مسح دائرة الفحص أثناء جزء الفحص أو بعد، إلا بعد لتأكد من عدم وجود قوسية وأن الملفات تم تفريغها تماماً من الشحنات المخزنة
- 4 لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بغير الفحص (Test leads) وكذلك أمشاطك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أية تسري فيرتة كاشقوي أو لكسور
- 5 لتأكد من أن جهاز الفحص الفرد يستخدمه معايير (Calibrated)، مع مراعاة عدم استخدام الجهاز في الأجواء القاسية للإنفجار وكذلك الأجواء المظرة وفي حال تسقط الثلوج أيضاً.
- 6 قبل البدء بالفحص يُفضل التعرف على أجزاء جهاز الفحص من شاشة ومبدع وأزرار ومقاييس تحكم ولصيات إشارة كالآتي:

الشكل (5-1-2) التالي يُبين الأجزاء الرئيسية لواجهه وحدة التحكم.



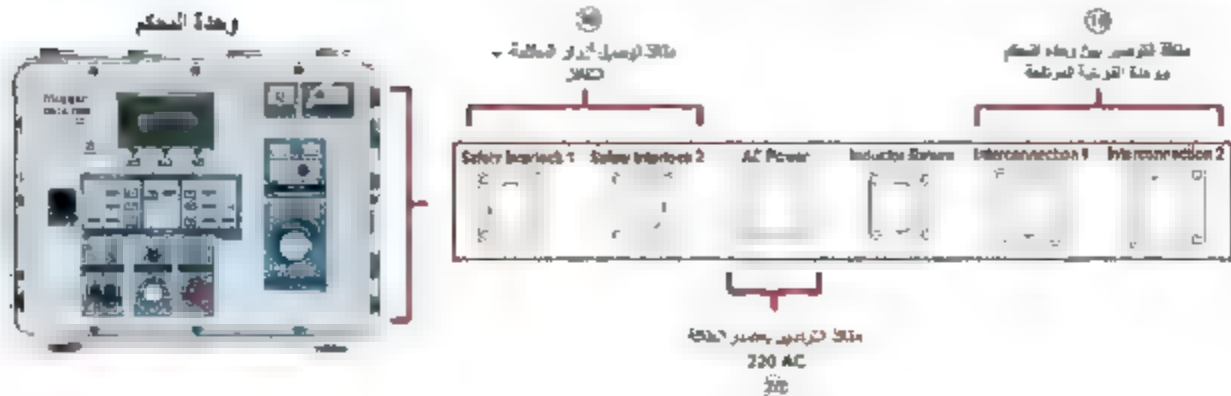
الشكل رقم (5-1-2)

الشكل (5-1-3) يُبين أزرار تحديد أسود المعص الموضوعة على وحدة التحكم.



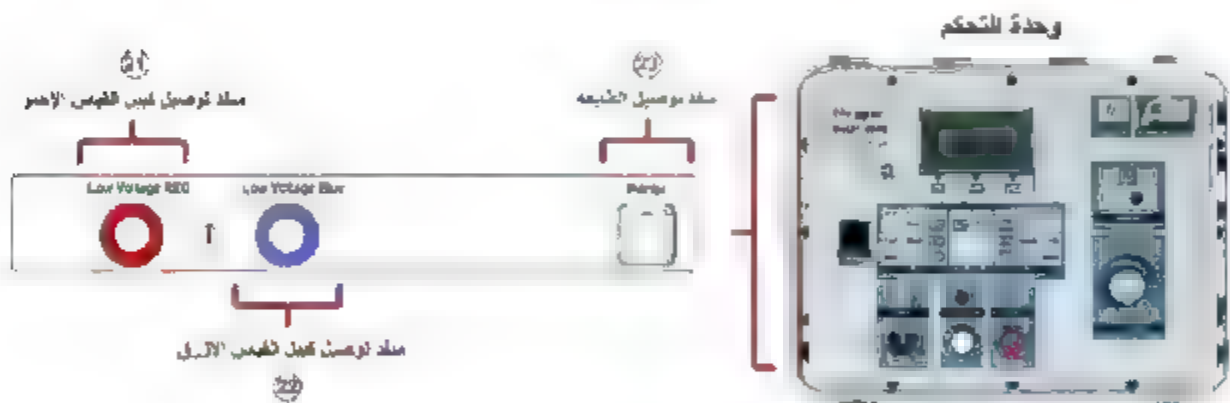
الشكل رقم (5-1-3)

الشكل (5-1-4) تبين المفاتيح الموجودة على يمين وحدة التحكم



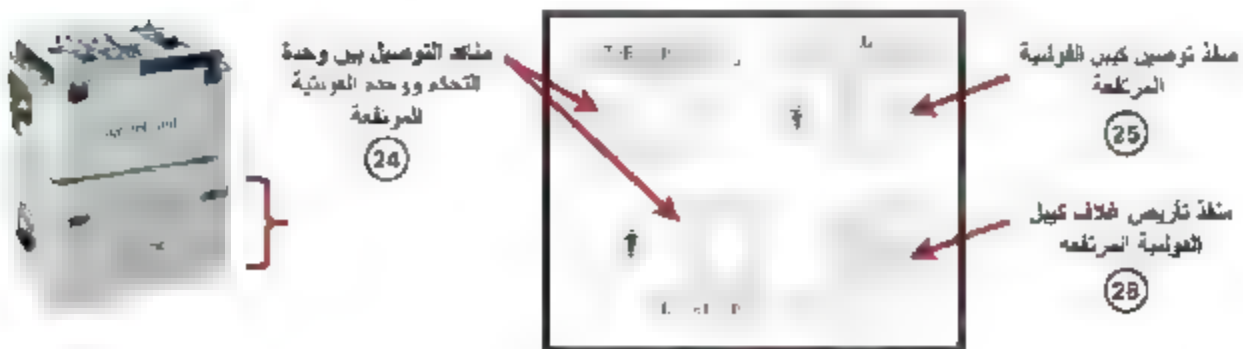
الشكل رقم (5-1-4)

الشكل (5-1-5) تبين المفاتيح الموجودة على يسار وحدة التحكم



الشكل رقم (5-1-5)

الشكل (5-1-6) تبين المفاتيح الموجودة على يمين وحدة التحكم المرتفعة



الشكل رقم (5-1-6)

- 7 تهيئة منطقة الفحص عبر مُراعاة الأمور التالية:
- 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشتعال في منطقة الفحص.
 - 7.3 التأكد من التهوية الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مُعلقة.
 - 7.4 مراعاة أن يكون سطح الفحص مستوي قدر الإمكان.
 - 7.5 التأكد من سلامة نظام الأرض في منطقة الفحص.
 - 7.6 وضع حواجز حول منطقة الفحص وتُشعر شخص يُعيد بوجود فحص ذو فائدة خطيرة.
- 8 حصر جهاز الفحص (DELTA2000) إلى الموقع مع مراعاة وضع الجهاز على مسافة لا تقل عن (1.8 m) عن المحوّل عن وعاء تعريفه لاشعة الشمس المباشرة لوقت طويل، حيث أن الحرارة الإشعاعية للجهاز يجب ألا تزيد عن (50°) درجة مئوية، وكذلك مُراعاة حفاظُ حُرارة الجهاز جميعها قبل تشغيله.
- 9 لتأكد من أن سطح الشعين الخاص بجهاز الفحص رقم (3) في الشكل (5-1-2) على وضعه (OFF 0 -) الموضحة على المفتاح.
- 10 وصل وحدة التحكم بالأرض (Local station earth) عبر منفذ الأرض رقم (1) في الشكل (5-1-2) بواسطة الكابل المُزوّد مع الجهاز من قبل الشركة المُصنّعة (4.5m) متر، مع مُراعاة أن يكون كابل لتأريض أول كابل يتم وصله قبل المحدث وجوهر كابل منه إزالته عن لجهاز بعد المحدث.
- 11 لتأكد من أن حبل المحوّل موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار الأرض ذو مُعوقة قليلة (Low Impedance)، مع مراعاة أن أرض جهاز الفحص وحبل المحوّل من نفس نقطة التأريض.
- 12 توصيل كابل الفحص ومنحفات جهاز الفحص عبر المنافذ الخاصة بها كالآتي، مع مراعاة لتأكد من أنه مُحكمة، يركب على جهاز الفحص وأنها مقمّدة (Locked):
- 12.1 توصيل كابل (2 cables x 1.52m) على المنافذ رقم (19) مُنبه في شكل (5-1-4) يمين وحدة التحكم والمود رقم (24) يمين وحدة الفوسية المرفوعة مُنبه في الشكل (5-2-6) بعداً لتسمية على الجهاز (Interconnection 1 & 2)، وذلك ليربط بين وحدة التحكم ووحدة لفولتية المرتفعة.
- 12.2 توصيل كابل الفوسية المنخفضة الأحمر (كابل القياس) على المنفذ رقم (21) على وحدة التحكم المبين في الشكل (5-1-5) على يسار وحدة التحكم.
- 12.3 توصيل كابل الفوسية المنخفضة للأرض (كابل القياس) في حال زودنا باستخدامه على منفذ رقم (22) المبين في الشكل (5-1-5) على يسار وحدة التحكم.
- 12.4 توصيل سلاك أرض لسلامة أو كما تُسمى نظام القفل (Interlock) على المنافذ رقم (18) المُنبه في الشكل (5-1-4) يمين وحدة التحكم.
- 12.5 توصيل الصانعة لجهاز الفحص عبر المنفذ رقم (23) المبين في الشكل (5-1-5) يسار وحدة التحكم، مع مراعاة وضعه مفتوح المبدئين الثاني (Dip switch) كما هو موضح بالشكل (5-1-1).

7.

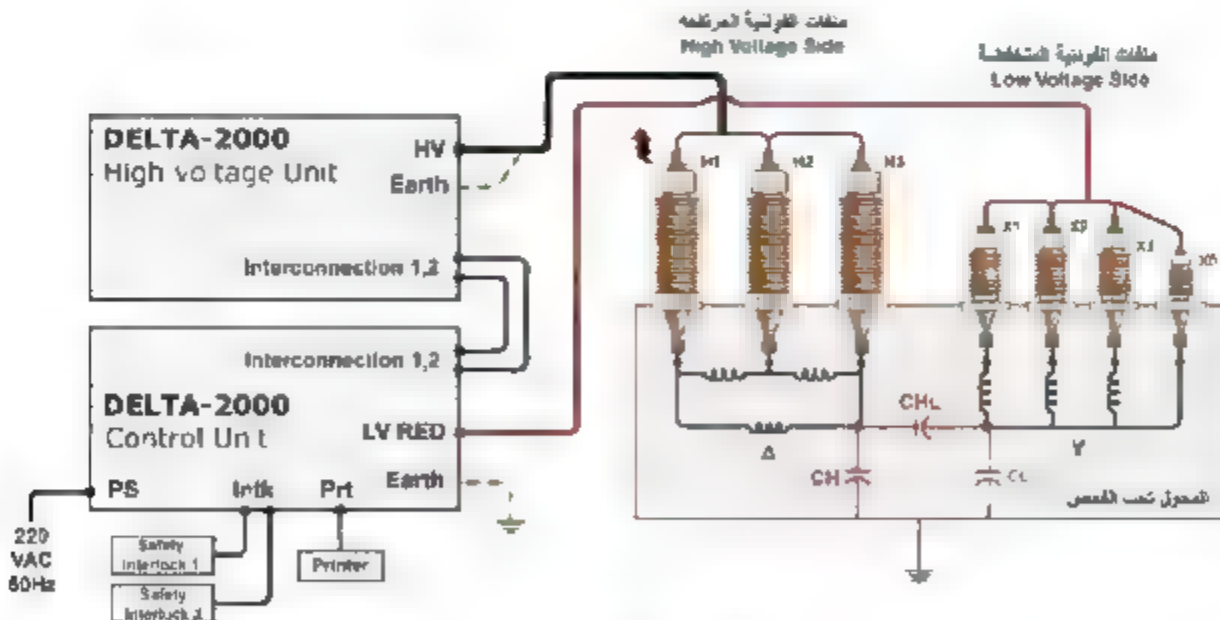


الشكل رقم (5-1-7)

- 12.6 توصيل كابل القوسية المرتفعة (الأسود) بالمعدة رقم (25) انمى في شكل (5-1-6) يمين وحدة القوسية المرتفعة، مع مرساة توصيل العلاف الحرجي لها الكس (Sheath) مع الأرض عبر المصعد رقم (26) انمى في الشكل (5-1-6) يمين وحدة القوسية المرتفعة
13. لتأكد من أن كس الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقه ضئيلة (Low Impedance)
- 14 توصيل جهاز فحص بمصدر الطاقة الكهربائي عبر المعدة رقم (20) في شكل (5-1-4) بحيث يتم وصل كابل الطاقة بجهاز الفحص أولاً ومن ثم بمصدر الكهربائي
- 15 توصيل أسلاك الحمار بالمحول على النحو التالي
- 15.1 الفحص محول ثلاثي الأطوار ثنائي المصبات (Three phase two winding) فإنه يمكن توصيل جهاز الفحص بالمحول بطريقتين:

• الطريقة الأولى

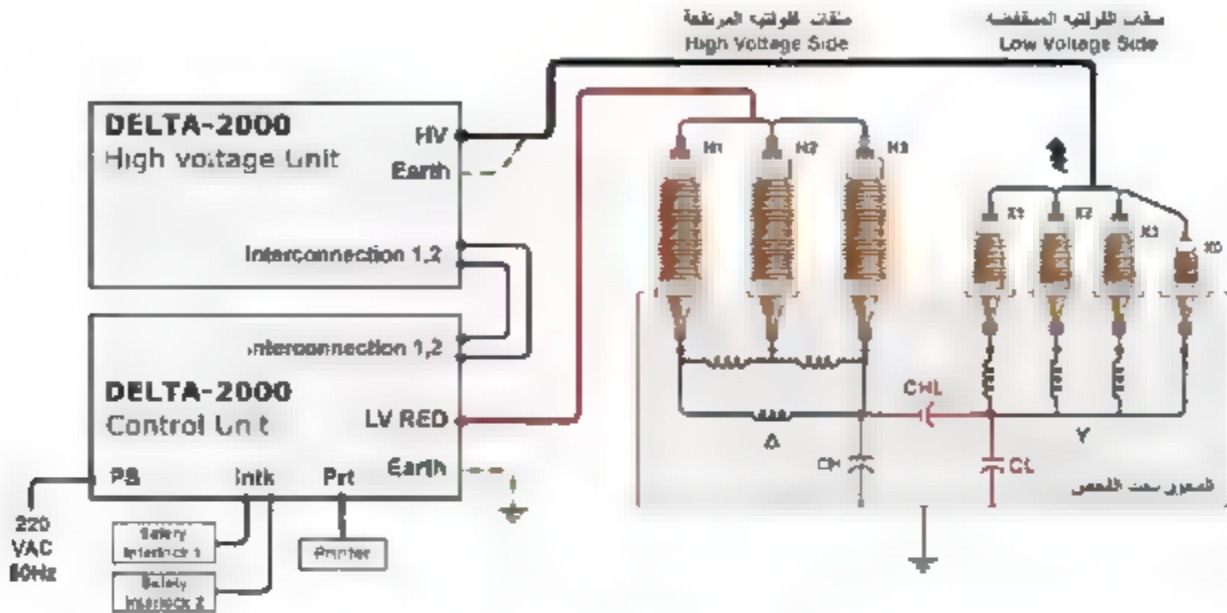
بواسطة هذه التوضيحية الضمنية في الشكل (5-1-8) يمكن فهم مميزات العمل التالية (CHL) و (CH) و (CHL+CH).



الشكل رقم (5-1-8)

• الطريقة الثانية

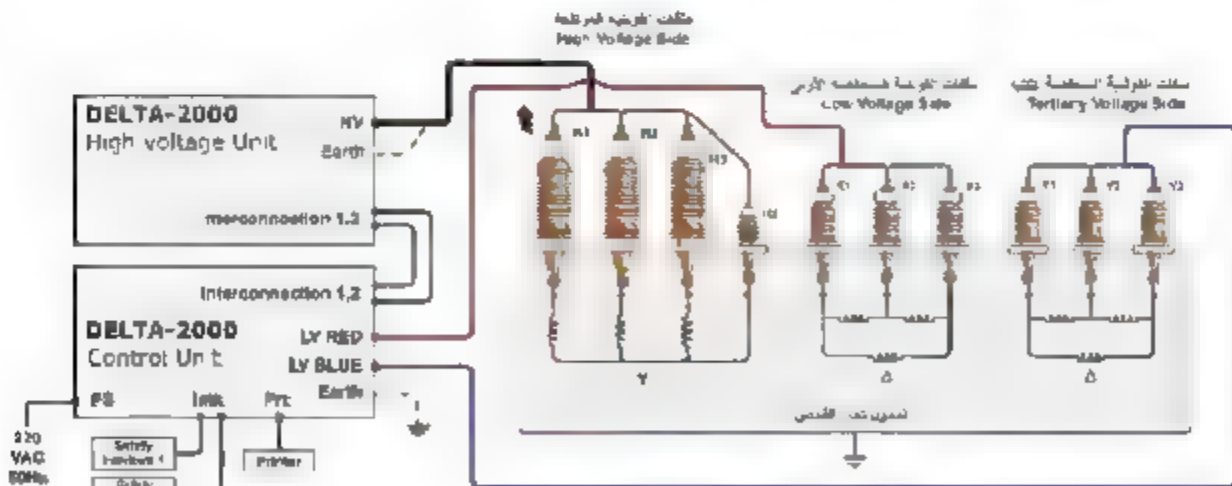
بواسطة هذه الموصيلة الضمنية في الشكل (5-9-1) يمكن قياس مُركب لمر ، لتايه (CHL) و (CL) و (CHL+CL)



الشكل رقم (5-9-1)

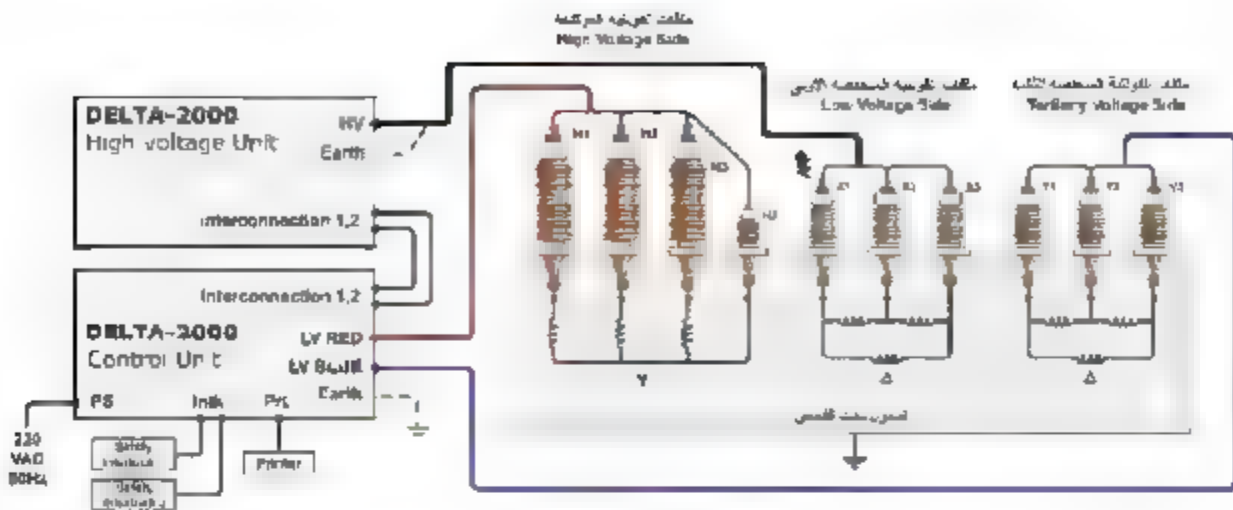
15.2 فحص محول ثلاثي الاضوار ثلاثي الملتفات (Three phase tertiary winding) فيه يمكن توصيل جهاز الفحص بالمحول بثلاث طرق:

• الطريقة الأولى



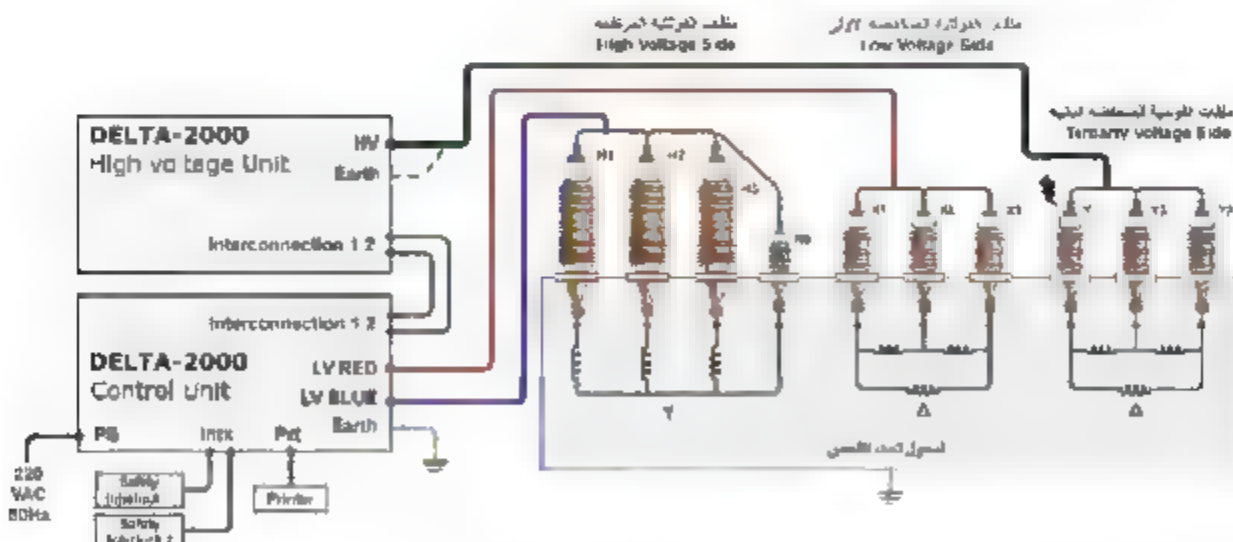
الشكل رقم (5-10-1)

• الطريقة الثانية



اشكال (5-1-11)

● الطريقة الثالثة

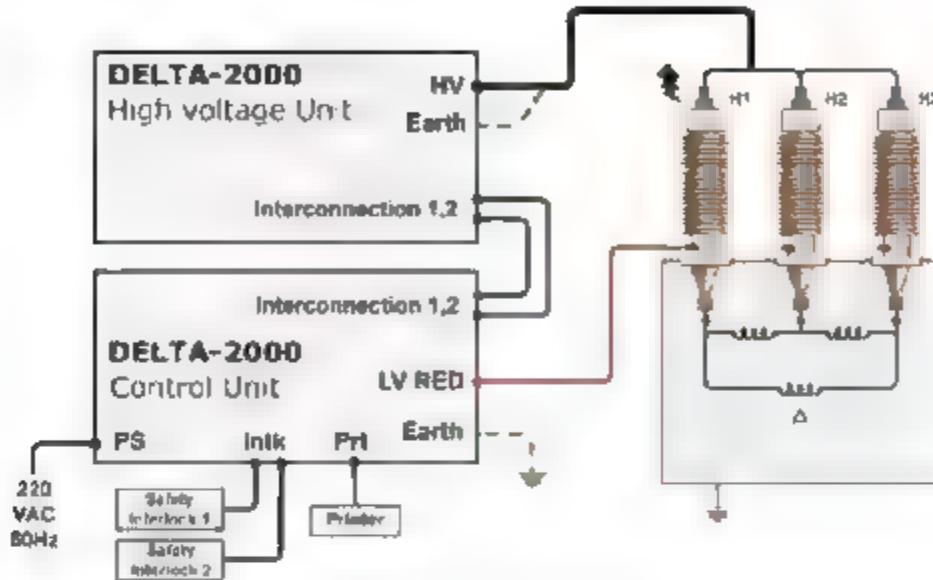


شک رقم (5-1-12)

15.3 لفحص عورت إخراج الهواءية (HV bushings) يتم عمل و حدة من التوصيلات التالية:

• الطريقة الأولى

بواسطة توصية الماسة في الشكل (5-1-13) يمكن فحص العزل لرئيسي عازل الإخراج (C1)

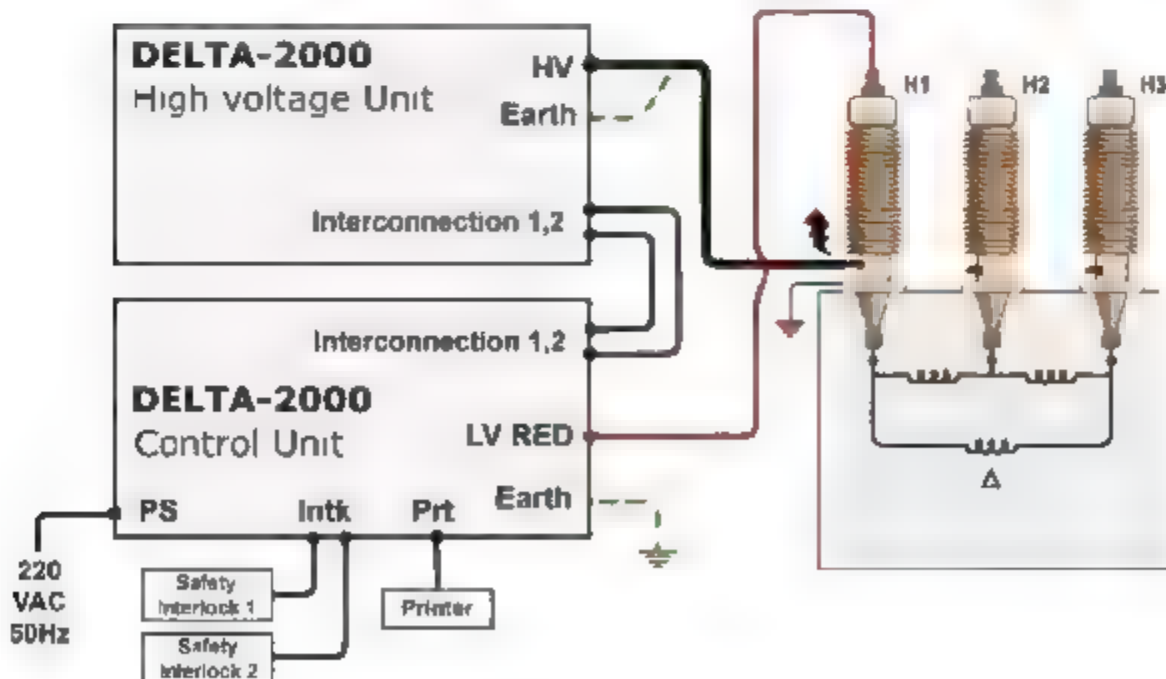


الشكل رقم (5-1-13)

في التوصية السابقة يتم مرحلة فاردن ما عاب القوائم المخصصة المصنوعة

• الطريقة الثانية

بواسطة توصية المبينة في الشكل (5-1-14) يمكن فحص عزل مأخذ الفحص (C2)



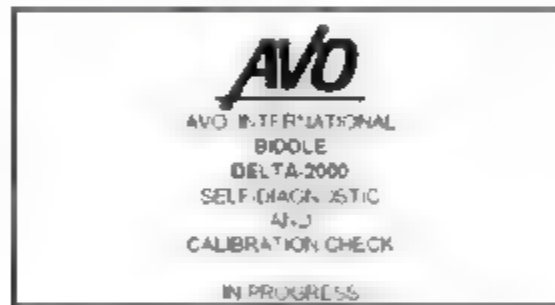
الشكل رقم (5-1-14)

الشكل (5-1-15) يوضح وضعيه كيس الموأنية المرتفعة الصحيحة و الخاصة عند وصله بعوارى خرق المحول



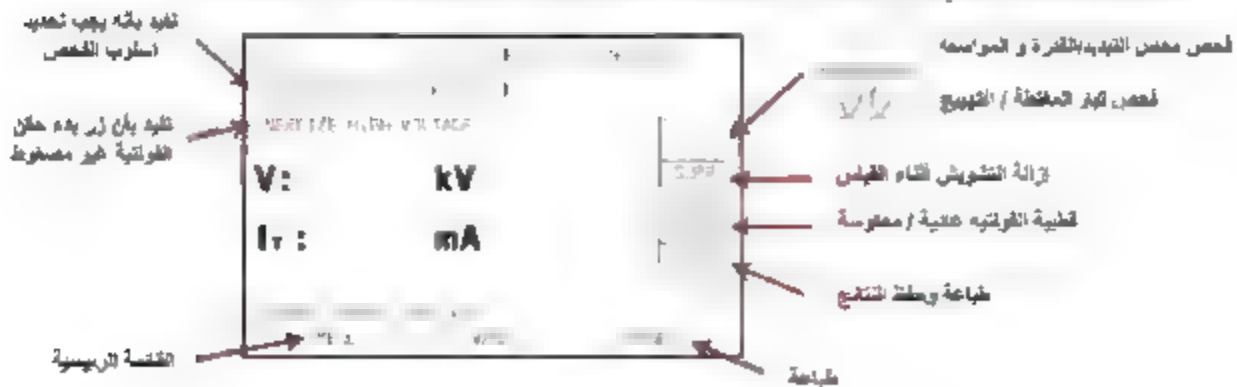
الشكل رقم (5-1-15)

16 بعد سمل توصيلة الفحص المسبقة بقرء بتشغيل جهاز الفحص عن حريق تعبى ومعبى (ربع) ممدح إشعاع رقم (3) المبنى فى الشكل (5-1-2) وملاحضة امارة لمة بشارة بيضاء اللون رقم (4) المبنى فى دار شكل تشهر لما الشاشة لإقتناحية وبدء إحتراق الشخيشى الدائى لجهاز كم هو مبين بالشكل (5-1-15)



الشكل رقم (5-1-16)

17 بعد نجاح الإحيمر التشخيصى الدائى لجهاز وعدم إيجاد أية أخطاء يقوم جهاز بالإعفاء لشاشة لفحص رئيسية والى من خلالها يمكن معرفه لمعلومات القيمة بالشكل (5-1-17)



الشكل رقم (5-1-17)

يمكن ضبط تباين الشاشة (Contrast) بواسطة المفتاح الدور رقم (15) المبين فى الشكل (5-1-2)

18 من شاشة الفحص السابقة يمكن ملاحظة المربعات على يمين الشاشة والتي تُشير لبعض الإعدادات لجهاز بشكل مختصر فيما إذا كانت مسيئة أو لا، وفي حال أردنا ضبط إعدادات الجهاز والفحص نقوم بإختيار القائمة الرئيسية (MENU) المُبين في الشكل (5-1-17) وذلك بالضغط على زر أسفلها، لنسفر لشاشة مسيئة في الشكل (5-1-18) والتي من خلالها يمكن ضبط إعدادات الفحص والجهاز كالآتي باستخدام الأزرار الثلاثة أسفل شاشة العرض:

18.1 تحديد نوع القياسات (Measurement) فيما إذا كان فحص العازل (AC Insulation test) وهو ما يجب إخباره به، أو إختيار فحص تيار المغنطة / التهجس (XFMR Excitation current test) وهو فحص آخر سيتم التطرق له في الفصل التالي.

18.2 تحديد قيمة فواتية التصحيح (Correction) بإختيار (10kV) أو (2.5kV) كيلو فولت أو إلغاء التصحيح (None)

18.3 تحديد نوع نتيجة الفحص المعروضة على الشاشة (Loss Display)، بحيث يمكن إخبار أن يكون «نتيجة كعامل تبديد (Dissipation Factor - DF) أو معامل قدرة (- Power Factor) (PF)

18.4 تشغيل أو إيقاف إزاحة التشوش (Interference Suppressor) وذلك بإختيار تشغيل (ON) إذا كانت سببته فحص شرعية التشوش كفحص المعولات في محطات التحويل لمكهربة (Energized) مرتفعة الفولتية

18.5 تحديد قطبية موجة الفحص «القطبية (HV Polarity) فيما إذا كانت عادية (Normal) أو عادية ومعاكسة (Normal/Reverse) وذلك لتخلص من تأثير تيارات التشوش الكهروستاتيكية المانحة عدد من محطات التحويل المجاورة ذات الفولتية المنخفضة

بالإضافة إلى مجموعة من الإعدادات الأخرى الخاصة بطباعة وحفظ النتائج وضبط وقت وسعيرة لجهاز وغيرها من الإعدادات.

EXIT TO TEST	11 26:08	10 27
MEASUREMENT	AC INSULATION TEST (or) XFMR EXCITATION TEST	
CORRECTION	NONE (or 10 kV (or) 2.5 kV	
LOSS DISPLAY	POWER FACTOR (or) DISSIPATION FACTOR	
INTERFERENCE SUPPRESSOR	ON (or) OFF	
HV POLARITY	NORMAL/REVERSE or NORMAL ONLY	
NEXT MENU		
ENTER OR CHANGE	UP	DOWN

الشكل رقم (5-1-18)

19 بعد الانتهاء من ضبط إعدادات الفحص والجهاز نقوم بإختيار (EXIT TO TEST) من الشكل (5-1-18) وذلك لترحول شاشة الفحص الرئيسية المُبين في الشكل (5-1-17) ومن ثم نقوم بالضغط على زر فحص جديد (New test) رقم (5) المُبين في الشكل (5-1-2)

20 اختيار أسلوب الفحص وفقاً لنوع المُنعة فيما إذا كان محوّل أو عدل إحراق (Bushing) ونوع مُركبة العزل المُراد فحصها كالآتي:

20.1 محوّل ثلاثي الأطوار ثنائي الملفات (Three phase two windings)

يتم اختيار أسلوب الفحص بالاعتماد على طبيعة القيمة المُرد قياسها وفقاً للجدول (5-1-2) التالي

الجدول رقم (5-1-2)

توصيلة الجهاز بالمحوّل	مركبة العزل المراد فحصه	أسلوب الفحص	Measure	Ground	Guard	رقم زر أسلوب الفحص بالرجوع للشكل (5-1-3)
الطريقة الأولى شكل (5-1-8)	CH + CHL	GST - Ground	-	RED	-	4
	CH	GST - Guard	-	-	RED	5
	CHL	UST	RED	-	-	2
الطريقة الثانية شكل (5-1-9)	CL + CHL	GST - Ground	-	RED	-	4
	CL	GST - Guard	-	-	RED	5

20.2 محوّل ثلاثي الأطوار ثلاثي الملفات (Three phase tertiary winding)

يتم اختيار أسلوب الفحص بالاعتماد على طبيعة القيمة المُرد قياسها وفقاً للجدول (5-1-3) التالي

الجدول رقم (5-1-3)

توصيلة الجهاز بالمحوّل	مركبة العزل المراد فحصه	أسلوب الفحص	Measure	Ground	Guard	رقم زر أسلوب الفحص بالرجوع للشكل (5-1-3)
طريقة الأولى الشكل (5-1-10)	CH + CHL	GST - Guard	-	RED	BLUE	7
	CH + CHT	GST - Guard	-	BLUE	RED	6
	CH	GST - Guard	-	-	RED BLUE	5
	CHL	UST	RED	BLUE	-	2
	CHT	UST	BLUE	RED	-	3
الطريقة الثانية شكل (5-1-11)	CL + CHL	GST - Guard	-	BLUE	RED	6
	CL + CLT	GST - Guard	-	RED	BLUE	7
	CL	GST - Guard	-	-	RED BLUE	5
	CLT	UST	BLUE	RED	-	3
	CT + CHT	GST - Guard	-	BLUE	RED	6
الطريقة الثالثة الشكل (5-1-12)	CT + CLT	GST - Guard	-	RED	BLUE	7
	CT	UST	-	-	RED BLUE	1

20.3 عوارل إختراق الفولتية المرتفعة (High Voltage Bushings)

يتم إختيار أسلوب الفحص بالاعتماد على طبيعة القيمة المُرد قياسها وفقاً لحدود (5-1-4) التالي.

الجدول رقم (5-1-4)

نوصيلة الجهاز يعازل الإختراق	مركبة العزل المراد فحصه	أسلوب الفحص	Measure	Ground	Guard	رقم زر أسلوب الفحص حسب الشكل (5-1-3)
الطريقة الأولى الشكل (5-1-13)	C1	UST	RED	-	-	2
طريقة الثانية الشكل (5-1-14)	C2	GST - Guard	-	-	RED	5

21. لصعده على أزرار السلامة أو كما تُسمى بنظام القفاص (Safety Interlock Push Buttons 1&2)

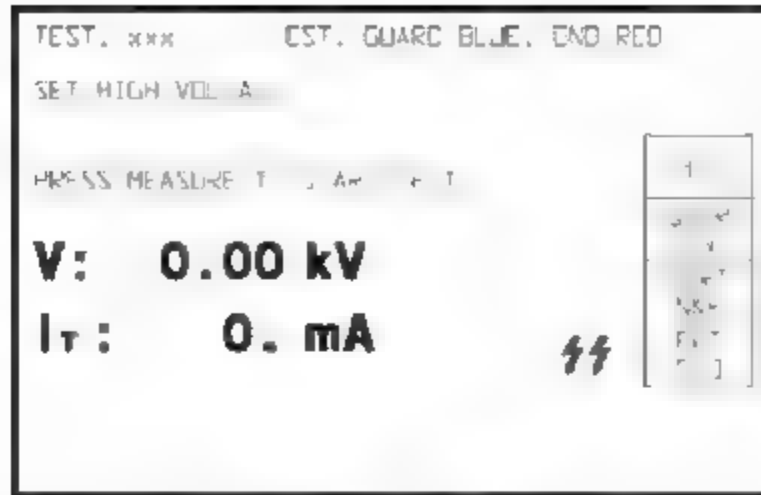
معاً وبقيهم بهذه حصة حتى ينته الفحص كما هو مبين بالشكل (5-1-19)، ونصح بأن يكون واحد من هذه الأزرار مع مشعل الجهد وأزرار اثنين مع فحص آخر لزيادة السلامة في الحالات الصارئة حيث أنه في حالات الطوارئ أثناء الفحص توقف الضغط على هذا الأزرار لإيقاف حقن الفولتية أو يتم للصعده على زر إيقاف الفحص الأحمر (17) المبين في الشكل (5-1-2).



الشكل، رقم (5-1-19)

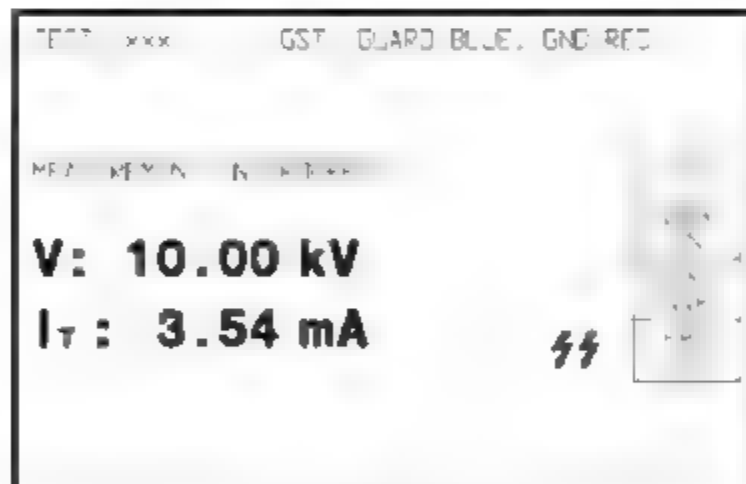
22 بصغير المصباح المؤثر (9) المبين في الشكل (5-1-2) أي جعده على وصعية (ZERO START)

23 اصعده على زر البدء بفحص قوسيه الأبيض (7) المبين في الشكل (5-1-2)، وملاحظة بإارة منه لإشارة الحمراء (8) المبينة في الشكل (5-1-2) والتي تعيد بدء فحص القوسية، وكذلك ظهور إشراق لرق على شاشة العرض والتي أيضاً تُعيد بدء فحص فولتية كما هو مبين في الشكل (5-1-20)



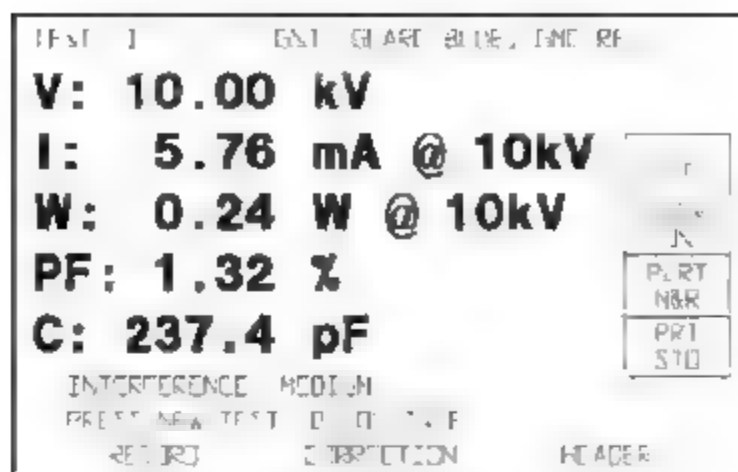
الشكل رقم (5-1-20)

- 24 ليبدأ بحركته، مفتاح الدوائر (9) لرفع الغولمية وتشغيل عند الغولمية. ثم دلفحص المعدة عندها وإلى
 > اتنا هذه سيختر (10kV) كيو فوولت. (يمكن الاعتماد على قمره تحدث الغولمية المصنعة في
 خطوات وأساليب الفحص (6) من هذا النص).
- 25 يقوم بالضغط على زر المياس (MEASURE) رقم (10) المسمى في الشكل (5-1-2) انظر إلى الشاشة
 لمسية في الشكل (5-1-21) وكذلك بارة لمة لإشارة الحمراء (11) المسمية في الشكل (5-1-2)، ولي
 تُنفذ بدء القياس حيث تنطفأ هذه اللمبة عند إنتهاء القياس ولكنها لا تعني عدم وجود فولتية



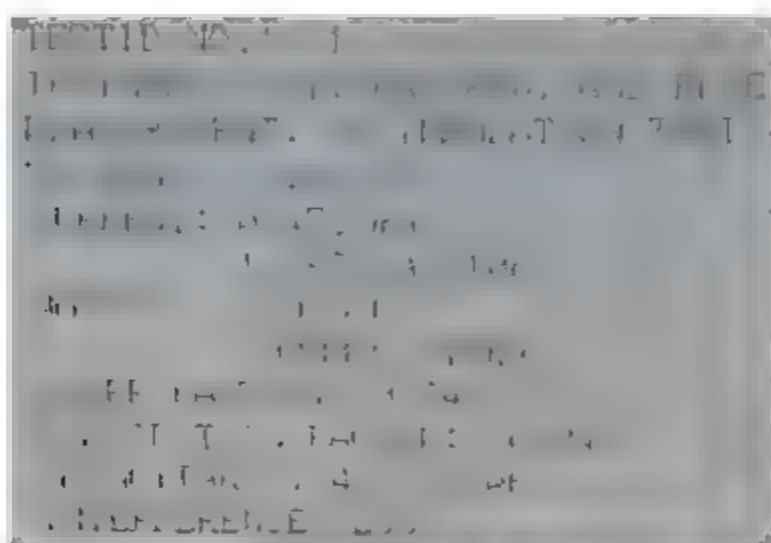
الشكل رقم (5-1-21)

- 26 بعد الإنتهاء من القياس تظهر سيجة لفحص على الشاشة المسمية في الشكل (5-1-22) حيث يمكن
 لأن يتوقف الضغط على زر السلامة (Interlock pushbuttons 162)



الشكل رقم (5-1-22)

27 يمكن ملءة لنتيجة عبر الضغط على الزر 'سفل كلمة (Header) المصهورة على شاشة عرض جديده لنتيجة وحفظها، وبين الشكل (5-1-23) نتيجة فحص سابق (مصروعة) تم إحراقه لعزل خرف في محول من النوع (Oil Bushing 400kV) عند فو تيه فحص (3kV) كيبوفوت وأيضاً يظهر نتيجة الفحص فصحة (10kV) كيلوفولت.



الشكل رقم (5-1-23)

28 بعد ذلك يُمكن الضغط على زر إيقاف الفحص لأحمر (T7) الفئ في الشكل (5-1-2)، وكذلك تعيين وصعة المفتاح الدوّار (9) إلى 'صفر في حال أردنا إنهاء الفحص، ولكن إذا أردنا إجراء فحص آخر يمكن ضغط على زر فحص جديد (5) الفئ في الشكل (5-1-2) وإعادة الخطوات من الخطوة (19) إلى آخر الخطوات.

الملحق (2-5)

إختبار فولتية الفحص المناسبة

في هذا الباب وردت الكثير من المقترحات والتي سيتم ذكرها وفقاً للمرجع المضمم فيه

✓ معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)

وفقاً للمعيار الصادر من معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Std C57.12.90-2015]، فإن فولتية الفحص يجب ألا تزيد عن فولتيه التحمل (Withstand voltage) بملفات أو نصف قيمه فوسية الفحص منخفضة تردد الواردة بالجدول رقم (3 و 4) بالمعيار [IEEE Std C57.12.00-2015] ولم يرقه في الملحق رقم (3-5) أو ألا تزيد عن (10kV) أيهما أقل

✓ اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC)

وفقاً للمعيار الصادر من اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60137-2017]، فإن الفولتية المقترحة لإجراء هذا الفحص لعزل إحراق المحولات (Bushings) العازلة بالموقع بشكل عام، يجب أن يكون محصور بين (2kV) كيلو فولت و (20kV) كيلو فولت.

✓ النشرة التقنية الصادرة عن شركة (ABB)

عند إجراء هذا الفحص على عوارل الإحراق (Bushings) بتطبيق الفولتية على الموصل الوسطي أي عند فحص العزل الرئيسي بعد الإحراق (C1) بالأسلوب الموضح في الشكل (19-5) (أ) فإن الفولتية لموصليها هي (10kV) كينوفوس، أما في حال تطبيق هذا الفحص على عوارل الإحراق (Bushings) الأسلوب الموضح في الشكل (19-5) (ب) أي بتطبيق الفولتية على أحد الفحص (Test Tap)، فإن الفولتية هي (500V) فولت، في حال كان أحد الفحص (Test Tap) مفحوص مصنعاً عند (2kV) كينوفوس، وفي حال كان أحد الفحص (Test Tap) مفحوص مصنعاً عند (20kV) كينوفوس فإنه يُمكن تطبيق فولتيه فحص قد تصل إلى (5kV) كينوفوس كما ورد بالنشرة التقنية صادرة عن شركته [ABB, Bushing diagnostics and conditioning, 2750 515-142 en, Rev 1]

✓ النشرة التقنية الصادرة عن (USBR)

أوردت هذه النشرة [USBR, Testing and Maintenance of High-Voltage Bushings Vol 3-2] مجموعة من القيم المقترحة لفولتية الفحص في حال تطبيق هذا الفحص على عوارل الإحراق (Bushings) بالأسلوب الموضح في الشكل (19-5) (ب)، أي بتطبيق الفولتية على أحد الفحص (Test Tap) وفقاً لنوع عازل الإحراق والشركة المصنعة كالآتي.

الجدول رقم (5-2-1)

فولتية المحصّل المُقترحة بالمولد	نوع عازل الإحتراق أو تصنيفه	لشركة المُصنّعة
2000	LC, U	General Electric
2000	POC	Lapp
250	L	Ohio Brass
500	GK, LK	Ohio Brass
500	P	Pennsylvania
500	S, OS	Westinghouse

✓ المرجع (Paul Gill, Electric Power Equipment Maintenance and Testing)

ورد هذا المرجع بمجموعة من القيم المُقترحة لفولتية المحصّل في حال تطبيقها المحصّل على عوارض الإحتراق (Bushings) بالأسلوب الموصى به في الشكل (5-19) (ب)، أي بتطبيق فولتية على واحد المحصّل (Test Tap) وذلك لمستوى فولتية عازل الإحتراق (Bushing) كالآتي:

الجدول رقم (5-2-2)

فولتية المحصّل المُقترحة بالمولد	فولتية عازل الإحتراق والكيلوفولت (Bushing)
500	أقل من 69
5000	أكثر من 115

✓ الكتيب التفصيلي الخاص بخطوات الفحص الصادر عن شركة (Doble)

ولفما ورد في الكتيب التفصيلي [Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev A] الصادر عن شركة (Doble) عند إجراء هذا الفحص للمحولات المعمورة بالزيت فإن مستوى فولتية المحصّل المُقترحة كالآتي:

الجدول رقم (5-2-3)

فولتية المحصّل المُقترحة بالكيلوفولت (Line to Ground kV)	لنوتيه الإسمية لصفات المحوّل والكيلوفولت (Lnt to Line KV)
10	أكثر من أو يساوي 12
5	5.04 - 8.72
2	2.4 - 4.8
1	أقل من 2.4

عند إجراء هذا الفحص على عوارل الإخراق (Bushings) بتطبيق فولتية على الموصّل الوسطي، أي عند فحص عزل لرنيسي لعازل لإختراف (CI) بالأسلوب الموضح في الشكل [(5-19) (أ)]، فإن مستوى فولتية الفحص المقترحة كالآتي

الجدول رقم (5-2-4)

فولتية عازل الإخراق بالكيلوفولت (Bushing insulation class)	فولتية الفحص المقترحة بالكيلوفولت
أكثر من 8.7	10
8.7	5
5	5
4.3	2
1.2	1

عند إجراء هذا الفحص على عوارل الإخراق (Bushings) بتطبيق فولتية على واحد الفحص (Test Tap) بالأسلوب الموضح في الشكل [(5-19) (ب)]، فإن مستوى فولتية الفحص المقترحة كالآتي

الجدول رقم (5-2-5)

فولتية عازل الإخراق بالكيلوفولت	فولتية الفحص المقترحة بالفولت
أكثر من 69 (Voltage Tap)	2000 و 5000 أمبير
أقل من أو يساوي 69 (Power Factor Tap)	500

الملحق (3-5)

قولتيه، التحق بمحاضرات تخصصية الرصد كما وردت بالمعيار [IEEE Std C57.12.00-2015] الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) المحولات أعدده من البصيف الأول ولذي (Class I & II)

Table 3 Dielectric insulation levels for distribution and Class I power transformers, voltages in kV

Maximum system voltage (kV rms)	Nominal system voltage ^{1,2} (kV rms)	Applied voltage level (kV rms)			Induced voltage level ^{3,4} (phase to ground) (kV rms)	Working line end BIL ⁵ (kV rms)			Neutral BIL ⁶ (kV rms)	
		Delta or fully insulated wye	Grounded wye	Impedance grounded wye or grounded wye with higher BIL		Class 100 kV	Class 150 kV	Grounded wye	Impedance grounded wye or grounded wye with higher BIL	
Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11
Distribution transformers										
1.5	1.2 ¹	10	—	10	14	30			30	30
3.5	3 ¹	2	—	2	3	45			45	45
6.9	5 ¹	10	—	10	5.8	60			60	60
11	8.7 ¹	25	—	25	10	75			75	75
17 ²	15	35	—	35	15	95	100		95	95
24	23 ¹	40	—	40	20	125	130		75	95
36	34.5 ¹	50	—	50	40	125	150	200	75	125
48	40 ¹	95	—	70	55	200	250		95	150
73	69 ¹	—	—	95	75	250	350		95	250
Class 100 kV and 150 kV transformers										
5	4.8 ¹	—	10	10	14	30	40		45	45
5	4.8 ¹	5	10	10	10	45	60		100	100
6.9	5 ¹	5	10	10	5.8	60	75			
11	8.7 ¹	25	25	25	10	75	90		95	95
17 ²	15	35	35	35	15	95	110		95	95
24	23 ¹	40	35	40	20	130			95	125
36	34.5 ¹	50	35	50	40	200			95	150
48	40 ¹	95	35	70	55	250	250		110	200
73	69 ¹	—	—	95	75	350	350		110	350

*For nominal voltage values greater than maximum system stage, use 240 V line voltage data for applied voltage test levels.

¹Trifluoride voltage tests can be conducted at a 75 percent safety voltage for .01 cycles.

²Bold typeface ETLs are the most commonly used standard levels.

⁽¹⁴⁾ Collected trap properties were a composite, selective, grouped, worst case result. Diff. collected (1) as a package with the same stage word (1) ratio.

* Single-phase distribution and power transformers and regulating transformers for voltages ranging between zero up to 4 kV and below are designed by sets Y and Y complete box and are also fitted the best voltage corresponding to the Y connection. When a suitable size of transformer is not found, a 10% higher voltage shall be used. The best voltage for such transformers, when ordered and operated, are therefore, higher than the nominal voltage.

¹For series windings in transformers such as voltage transformers, the r_{eff} values to ground will be determined by the DIL of the series windings rather than by the rated voltage between terminals.

[illegible]

¹ <http://www.fishbase.org>

Table 4—Dielectric insulation levels for all windings of Class II power transformers, voltages in kV

Maximum system voltage (kV rms)	Nominal system voltage ^a (kV rms)	Applied voltage test ^b (kV rms)			Induced voltage test ^c (phase to ground) (kV rms)		Winding line-end BIL ^d (kV crest)				Neutral BIL ^{e,f} (kV crest)	
		Delta and fully insulated wye	Grounded wye	Impedance grounded wye or grounded wye with lighter BIL	Enhanced 7200 cycle	One hour	Minimum	Alternates	Col 10	Col 11	Grounded wye	Impedance grounded wye or grounded wye with higher BIL
Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11	Col 12	Col 13
1	1	3	3	3	1	1	110				110	110
2	2	5	3	3	2	2	150				110	125
3	3	7	3	3	3	3	200				110	150
4	4	9	3	3	4	4	200	250			110	210
5	5	11	3	3	5	5	250	350			110	250
6	6	13	3	3	6	6	350	450	550		110	250
7	7	15	3	3	7	7	450	550	650	850	110	250
8	8	17	3	3	8	8	550	650	750	950	110	350
9	9	19	3	3	9	9	650	750	850	1050	110	450
10	10	21	3	3	10	10	750	850	950	1150	110	450
11	11	23	3	3	11	11	850	950	1050	1250	110	450
12	12	25	3	3	12	12	950	1050	1150	1350	110	450
13	13	27	3	3	13	13	1050	1150	1250	1450	110	450
14	14	29	3	3	14	14	1150	1250	1350	1550	110	450
15	15	31	3	3	15	15	1250	1350	1450	1650	110	450
16	16	33	3	3	16	16	1350	1450	1550	1750	110	450
17	17	35	3	3	17	17	1450	1550	1650	1850	110	450
18	18	37	3	3	18	18	1550	1650	1750	1950	110	450
19	19	39	3	3	19	19	1650	1750	1850	2050	110	450
20	20	41	3	3	20	20	1750	1850	1950	2150	110	450
21	21	43	3	3	21	21	1850	1950	2050	2250	110	450
22	22	45	3	3	22	22	1950	2050	2150	2350	110	450
23	23	47	3	3	23	23	2050	2150	2250	2450	110	450
24	24	49	3	3	24	24	2150	2250	2350	2550	110	450
25	25	51	3	3	25	25	2250	2350	2450	2650	110	450
26	26	53	3	3	26	26	2350	2450	2550	2750	110	450
27	27	55	3	3	27	27	2450	2550	2650	2850	110	450
28	28	57	3	3	28	28	2550	2650	2750	2950	110	450
29	29	59	3	3	29	29	2650	2750	2850	3050	110	450
30	30	61	3	3	30	30	2750	2850	2950	3150	110	450
31	31	63	3	3	31	31	2850	2950	3050	3250	110	450
32	32	65	3	3	32	32	2950	3050	3150	3350	110	450
33	33	67	3	3	33	33	3050	3150	3250	3450	110	450
34	34	69	3	3	34	34	3150	3250	3350	3550	110	450
35	35	71	3	3	35	35	3250	3350	3450	3650	110	450
36	36	73	3	3	36	36	3350	3450	3550	3750	110	450
37	37	75	3	3	37	37	3450	3550	3650	3850	110	450
38	38	77	3	3	38	38	3550	3650	3750	3950	110	450
39	39	79	3	3	39	39	3650	3750	3850	4050	110	450
40	40	81	3	3	40	40	3750	3850	3950	4150	110	450
41	41	83	3	3	41	41	3850	3950	4050	4250	110	450
42	42	85	3	3	42	42	3950	4050	4150	4350	110	450
43	43	87	3	3	43	43	4050	4150	4250	4450	110	450
44	44	89	3	3	44	44	4150	4250	4350	4550	110	450
45	45	91	3	3	45	45	4250	4350	4450	4650	110	450
46	46	93	3	3	46	46	4350	4450	4550	4750	110	450
47	47	95	3	3	47	47	4450	4550	4650	4850	110	450
48	48	97	3	3	48	48	4550	4650	4750	4950	110	450
49	49	99	3	3	49	49	4650	4750	4850	5050	110	450
50	50	101	3	3	50	50	4750	4850	4950	5150	110	450
51	51	103	3	3	51	51	4850	4950	5050	5250	110	450
52	52	105	3	3	52	52	4950	5050	5150	5350	110	450
53	53	107	3	3	53	53	5050	5150	5250	5450	110	450
54	54	109	3	3	54	54	5150	5250	5350	5550	110	450
55	55	111	3	3	55	55	5250	5350	5450	5650	110	450
56	56	113	3	3	56	56	5350	5450	5550	5750	110	450
57	57	115	3	3	57	57	5450	5550	5650	5850	110	450
58	58	117	3	3	58	58	5550	5650	5750	5950	110	450
59	59	119	3	3	59	59	5650	5750	5850	6050	110	450
60	60	121	3	3	60	60	5750	5850	5950	6150	110	450
61	61	123	3	3	61	61	5850	5950	6050	6250	110	450
62	62	125	3	3	62	62	5950	6050	6150	6350	110	450
63	63	127	3	3	63	63	6050	6150	6250	6450	110	450
64	64	129	3	3	64	64	6150	6250	6350	6550	110	450
65	65	131	3	3	65	65	6250	6350	6450	6650	110	450
66	66	133	3	3	66	66	6350	6450	6550	6750	110	450
67	67	135	3	3	67	67	6450	6550	6650	6850	110	450
68	68	137	3	3	68	68	6550	6650	6750	6950	110	450
69	69	139	3	3	69	69	6650	6750	6850	7050	110	450
70	70	141	3	3	70	70	6750	6850	6950	7150	110	450
71	71	143	3	3	71	71	6850	6950	7050	7250	110	450
72	72	145	3	3	72	72	6950	7050	7150	7350	110	450
73	73	147	3	3	73	73	7050	7150	7250	7450	110	450
74	74	149	3	3	74	74	7150	7250	7350	7550	110	450
75	75	151	3	3	75	75	7250	7350	7450	7650	110	450
76	76	153	3	3	76	76	7350	7450	7550	7750	110	450
77	77	155	3	3	77	77	7450	7550	7650	7850	110	450
78	78	157	3	3	78	78	7550	7650	7750	7950	110	450
79	79	159	3	3	79	79	7650	7750	7850	8050	110	450
80	80	161	3	3	80	80	7750	7850	7950	8150	110	450
81	81	163	3	3	81	81	7850	7950	8050	8250	110	450
82	82	165	3	3	82	82	7950	8050	8150	8350	110	450
83	83	167	3	3	83	83	8050	8150	8250	8450	110	450
84	84	169	3	3	84	84	8150	8250	8350	8550	110	450
85	85	171	3	3	85	85	8250	8350	8450	8650	110	450
86	86	173	3	3	86	86	8350	8450	8550	8750	110	450
87	87	175	3	3	87	87	8450	8550	8650	8850	110	450
88	88	177	3	3	88	88	8550	8650	8750	8950	110	450
89	89	179	3	3	89	89	8650	8750	8850	9050	110	450
90	90	181	3	3	90	90	8750	8850	8950	9150	110	450
91	91	183	3	3	91	91	8850	8950	9050	9250	110	450
92	92	185	3	3	92	92	8950	9050	9150	9350	110	450
93	93	187	3	3	93	93	9050	9150	9250	9450	110	450
94	94	189	3	3	94	94	9150	9250	9350	9550	110	450
95	95	191	3	3	95	95	9250	9350	9450	9650	110	450
96	96	193	3	3	96	96	9350	9450	9550	9750	110	450
97	97	195	3	3	97	97	9450	9550	9650	9850	110	450
98	98	197	3	3	98	98	9550	9650	9750	9950	110	450
99	99	199	3	3	99	99	9650	9750	9850	10050	110	450
100	100	201	3	3	100	100	9750	9850	9950	10150	110	450

^aFor nominal system voltage greater than maximum system voltage, use the next higher voltage class for applied test levels.

^bInduced voltage tests shall be conducted at 1.45 nominal system voltage for one hour and 1.80 nominal system voltage for enhanced 7200 cycle test.

^cColumn 6 and Column 7 provide phase-to-ground test levels that normally be applicable to wye windings. When the test voltage level is to be measured phase-to-phase (as is normally the case with delta windings), the levels in Column 6 and Column 7 must be multiplied by 1.732 to obtain the required phase-to-phase induced voltage test level.

^dBold typeface BILs are the most commonly used standard levels.

^eX-Y column selected transformer usage is common to delta grounded neutral and wye grounded neutral. Use neutral BIL selected in accordance with the low voltage winding rating.

^fFor 500 kV (1.85 kV rms) and higher voltage levels, the test voltage level shall follow rules in footnote 1, and 1950 kV BIL is not a standard IEEE level.

^gIf user specifies a different BIL for the neutral over indicated level, the applied test voltage shall also be specified.

الملحق (4-5)

قيمه معامل التصحيح k وفقاً للكثيبت التفصيلي لخاص بجهار فحص (DELTA2000) لفصنع بواسطه شركة (MEGGER)

الجدول رقم (1-4-5)

معامل التصحيح	درجة الحرارة (C°)	معامل التصحيح	درجة الحرارة (C°)
0.73	27	1.56	0
0.70	28	1.54	1
0.67	29	1.52	2
0.63	30	1.50	3
0.60	31	1.48	4
0.58	32	1.46	5
0.56	33	1.45	6
0.53	34	1.44	7
0.51	35	1.43	8
0.49	36	1.41	9
0.47	37	1.38	10
0.45	38	1.35	11
0.44	39	1.31	12
0.42	40	1.27	13
0.38	42	1.24	14
0.36	44	1.20	15
0.33	46	1.16	16
0.30	48	1.12	17
0.28	50	1.08	18
0.26	52	1.04	19
0.23	54	1	20
0.21	56	0.96	21
0.19	58	0.91	22
0.17	60	0.87	23
0.16	62	0.83	24
0.14	66	0.79	25
0.12	70	0.76	26



TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C

LIQUID-FILLED TRANSFORMERS, SHUNT REACTORS AND VOLTAGE REGULATORS									
POWER TRANSFORMERS (About 500 kVA)					DISTRIBUTION TRANSFORMERS (500 kVA and below)				
Air-filled Transformers	Pre- Breathing and Pre-1960 Conservator Types	Sealed, Non-breathing, and Modern Conservator Types	Oil-Filled		TEST TEMPERATURES °C	TEST TEMPERATURES °F	MV/MV Shunt Reactors (Oil-Filled)	Voltage Regulators (Oil-Filled)	Air-filled Reactors (Oil-Filled)
			Prior to 1950	Modern					
15	156	85	1.56	1.57	0	32.0	.95	1.56	1.57
16	152	96	1.52	1.50	2	35.6	.96	1.52	1.50
17	148	96	1.48	1.44	4	39.2	.96	1.48	1.44
18	145	96	1.45	1.37	6	42.8	.96	1.45	1.37
19	143	99	1.43	1.31	8	46.4	.97	1.43	1.31
20	138	99	1.38	1.28	10	50.0	.99	1.38	1.28
21	134	100	1.34	1.16	12	53.6	1.00	1.34	1.16
22	131	101	1.31	1.08	14	57.2	1.01	1.31	1.08
23	128	101	1.28	1.03	16	60.8	1.01	1.28	1.03
24	125	102	1.25	1.00	18	64.4	1.02	1.25	1.00
25	122	102	1.22	1.00	20	68.0	1.02	1.22	1.00
26	119	102	1.19	.98	22	71.6	.99	1.19	.98
27	116	102	1.16	.97	24	75.2	.98	1.16	.96
28	113	102	1.13	.96	26	78.8	.97	1.13	.95
29	110	102	1.10	.94	28	82.4	.96	1.10	.94
30	107	102	1.07	.93	30	86.0	.95	1.07	.93
31	104	102	1.04	.91	32	89.6	.94	1.04	.91
32	101	102	1.01	.89	34	93.2	.93	1.01	.90
33	98	102	.98	.87	36	96.8	.91	.98	.88
34	95	102	.95	.85	38	100.4	.90	.95	.87
35	92	102	.92	.83	40	104.0	.89	.92	.85
36	89	102	.89	.82	42	107.6	.87	.89	.82
37	86	102	.86	.80	44	111.2	.86	.86	.80
38	83	102	.83	.78	46	114.8	.84	.83	.78
39	80	102	.80	.75	48	118.4	.83	.80	.74
40	77	102	.77	.71	50	122.0	.81	.77	.71
41	74	102	.74	.68	52	125.6	.79	.74	.68
42	71	102	.71	.65	54	129.2	.77	.71	.65
43	68	102	.68	.62	56	132.8	.75	.68	.62
44	65	102	.65	.59	58	136.4	.73	.65	.59
45	62	102	.62	.56	60	140.0	.71	.62	.56

© 1973 Doble Engineering Company
All rights reserved

TMCP 2000 REV A

المحولات

قيمة معامل التصحيح k وفقاً للكثيف المتصلي الصادر عن شركة (Doble) واحصا بخطوات هـ
[Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev.A]

قيمة معاصر التصحيح k وفقاً للكثيب التفصيلي الصادر عن شركة (Doble) و احص بخطوت هـ
 ا معص [Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev.A]

عوازل الإختراق (1/2)

TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
 AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C



ABB		ASEA		BROWN BOVERI		BUSHINGS					GENERAL ELECTRIC					HAEFELY
Type	Type O + C	Type Type 35-75 kV	Type Type 20-50 kV	Type Type 85-330 kV	TEST TEMPERATURES °C	Type B	Type F	Type L, LLM	Type OF, OFL, OFM	Type S, S1, SIM (God, Filled)	Type Tendu	Type COS, SOT				
1.02	0.7	0.75	1.24	1.00	0	1.08	0.93	1.00	1.18	1.28	1.02	-				
1.02	0.8	0.81	1.22	1.00	2	1.09	0.96	1.00	1.16	1.24	1.02	-				
1.02	0.91	0.93	1.20	1.00	4	1.09	0.97	1.00	1.15	1.21	1.02	-				
1.01	0.92	0.95	1.17	1.00	6	1.08	0.98	1.00	1.13	1.19	1.01	-				
1.01	0.93	0.97	1.15	1.00	8	1.08	0.99	1.00	1.11	1.16	1.01	-				
1.01	0.94	0.98	1.12	1.00	10	1.07	0.99	1.00	1.10	1.14	1.01	0.94				
1.01	0.95	0.92	1.10	1.00	12	1.06	0.99	1.00	1.08	1.11	1.01	0.94				
1.01	0.96	0.94	1.08	1.00	14	1.05	1.00	1.00	1.06	1.08	1.01	0.93				
1.00	0.96	0.95	1.05	1.00	16	1.04	1.00	1.00	1.04	1.06	1.00	0.95				
1.00	0.99	0.98	1.03	1.00	18	1.02	1.00	1.00	1.02	1.03	1.00	0.94				
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
1.00	1.03	1.05	0.98	1.00	22	0.97	0.99	0.99	0.97	0.97	1.00	1.02				
1.00	1.02	1.05	0.96	1.00	24	0.93	0.97	0.98	0.94	0.93	1.00	1.04				
0.99	1.03	1.07	0.94	1.00	26	0.90	0.95	0.96	0.91	0.90	0.99	1.07				
0.99	1.04	1.09	0.91	1.00	28	0.85	0.94	0.97	0.88	0.87	0.99	1.09				
0.98	1.05	1.12	0.88	1.00	30	0.81	0.92	0.99	0.85	0.84	0.98	1.1				
0.97	1.06	1.14	0.86	1.00	32	0.77	0.99	0.95	0.83	0.81	0.97	1.13				
0.97	1.07	1.17	0.84	1.00	34	0.73	0.97	0.94	0.80	0.77	0.97	1.15				
0.96	1.07	1.19	0.82	1.00	36	0.69	0.94	0.93	0.77	0.74	0.96	1.17				
0.95	1.08	1.21	0.80	1.00	38	0.65	0.91	0.91	0.74	0.70	0.95	1.19				
0.94	1.08	1.23	0.78	1.00	40	0.61	0.88	0.89	0.70	0.67	0.94	1.21				
0.93	1.09	1.26	0.76	1.00	42	0.57	0.85	0.87	0.67	0.63	0.93	1.22				
0.91	1.10	1.28	0.74	1.00	44	0.53	0.82	0.85	0.63	0.60	0.91	1.24				
0.89	1.10	1.30	0.72	1.00	46	0.49	0.80	0.83	0.61	0.59	0.89	1.25				
0.87	1.11	1.31	0.70	1.00	48	0.45	0.78	0.82	0.58	0.53	0.87	1.26				
0.86	1.13	1.33	0.68	1.00	50	0.41	0.76	0.80	0.56	0.53	0.86	1.27				
0.84	1.11	1.34	0.66	1.00	52	0.37	0.74	0.78	0.53	0.50	0.84	1.28				
0.82	1.11	1.36	0.64	1.00	54	0.33	0.72	0.76	0.51	0.47	0.82	1.29				
0.79	1.11	1.37	0.62	1.00	56	0.29	0.70	0.74	0.49	0.45	0.79	1.30				
0.77	1.12	1.37	0.60	1.00	58	0.25	0.68	0.72	0.46	0.41	0.77	1.31				
0.75	1.12	1.38	0.58	1.00	60	0.21	0.66	0.70	0.44	0.39	0.75	1.32				

©1999 Doble Engineering Company
 All rights reserved



TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS
AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 20°C (BUSHINGS - continued)

LAPP		MICROWAVE-EDISON		MICAPIL		M'CANITE AND INSULATORS CO.		TEST TEMPERATURES °C		OMCO BUSHINGS				PASSOMI VILLA		WESTINGHOUSE		
Class ¹	Class PRC	Class POC	Type RPA	Type WTP	Types	25-40 kV	40-60 kV	°C	°F	Class 138 kV	Class 146-154 kV	Class 154-162 kV	Class 162-170 kV	Class 170-178 kV	Class 178-186 kV	Con- denser, except Type O	Types C O-Al and O + C	Types O + C
90	.81	1.00	68	-	-	1.53	1.13	0	32.0	1.24	1.29	.90	.85	.85	1.91	.88	.87	.87
91	.83	1.00	70	-	-	1.49	1.11	2	35.6	1.47	1.26	.91	.86	.89	1.92	.89	.89	.89
92	.85	1.00	72	-	-	1.45	1.10	4	39.2	1.40	1.24	.91	.87	.94	1.44	.90	.91	.91
93	.86	1.00	74	-	-	1.37	1.08	6	42.8	1.34	1.21	.92	.88	.98	1.36	.91	.92	.92
94	.89	1.00	76	-	-	1.31	1.07	8	46.4	1.28	1.19	.92	.90	.92	1.30	.93	.93	.93
95	.92	1.00	78	-	-	1.25	1.06	10	50.0	1.24	1.18	.92	.92	.98	1.23	.94	.94	.94
96	.94	1.00	80	-	-	1.20	1.05	12	53.6	1.18	1.12	.94	.93	.98	1.18	.95	.95	.95
97	.95	1.00	82	-	-	1.16	1.04	14	57.2	1.14	1.09	.95	.95	.92	1.13	.96	.96	.96
98	.97	1.00	84	-	-	1.10	1.03	16	60.8	1.09	1.06	.97	.96	.90	1.06	.98	.98	.98
99	.98	1.00	86	-	-	1.05	1.01	18	64.4	1.04	1.03	.98	.96	.87	1.04	.99	.99	.99
100	1.00	1.00	88	-	-	1.00	1.00	20	68.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
101	1.00	1.00	90	-	-	.96	.98	22	71.6	.95	.97	1.02	1.02	1.02	.98	1.01	1.01	1.01
102	1.03	1.00	92	-	-	.91	.98	24	75.2	.91	.94	1.04	1.04	1.05	.92	1.02	1.02	1.02
103	1.05	1.00	94	-	-	.87	.96	26	78.8	.88	.91	1.06	1.06	1.07	.88	1.04	1.03	1.03
104	1.07	1.00	96	-	-	.84	.95	28	82.4	.84	.88	1.09	1.09	1.09	.84	1.05	1.04	1.04
105	1.10	1.00	98	-	-	.80	.94	30	86.0	.80	.85	1.11	1.10	1.11	.81	1.06	1.05	1.05
106	1.11	1.00	100	-	-	.77	.93	32	89.6	.77	.83	1.13	1.12	1.13	.77	1.07	1.06	1.06
107	1.12	1.00	102	-	-	.74	.92	34	93.2	.74	.80	1.15	1.14	1.16	.74	1.08	1.07	1.07
108	1.13	1.00	104	-	-	.70	.90	36	96.8	.71	.78	1.17	1.16	1.17	.70	1.08	1.07	1.07
109	1.14	1.00	106	-	-	.67	.88	38	100.4	.68	.75	1.19	1.17	1.19	.67	1.09	1.08	1.08
110	1.15	1.00	108	-	-	.64	.86	40	104.0	.65	.72	1.21	1.19	1.21	.64	1.09	1.08	1.08
111	1.16	1.00	110	-	-	.61	.85	42	107.6	.62	.70	1.22	1.19	1.22	.62	1.10	1.09	1.09
112	1.17	1.00	112	-	-	.58	.84	44	111.2	.60	.68	1.24	1.20	1.24	.58	1.11	1.10	1.10
113	1.18	1.00	114	-	-	.55	.83	46	114.8	.58	.66	1.26	1.21	1.26	.56	1.11	1.10	1.10
114	1.19	1.00	116	-	-	.52	.84	48	118.4	.55	.64	1.27	1.21	1.27	.53	1.10	1.11	1.11
115	1.20	1.00	118	-	-	.50	.83	50	122.0	.53	.62	1.29	1.22	1.29	.51	1.10	1.11	1.11
116	1.21	1.00	120	-	-	.48	.82	52	125.6	.51	.60	1.30	1.22	1.30	.49	1.10	1.11	1.11
117	1.22	1.00	122	-	-	.46	.81	54	129.2	.49	.58	1.31	1.22	1.31	.48	1.09	1.11	1.11
118	1.23	1.00	124	-	-	.44	.80	56	132.8	.47	.56	1.33	1.22	1.33	.47	1.09	1.11	1.11
119	1.24	1.00	126	-	-	.42	.79	58	136.4	.45	.54	1.34	1.21	1.34	.46	1.07	1.12	1.12
120	1.25	1.00	128	-	-	.40	.78	60	140.0	.43	.52	1.35	1.21	1.35	.45	1.06	1.12	1.12

¹This curve is applicable to Posse EPC bushings which were manufactured after March 1957 (S/N 3530 or higher).

TWC-4850

©1958 Doble Engineering Company
All rights reserved

عوازل الإختراق (2/2)

قيمة معامل التصحيح k وفقاً للكتيب المعصلي الصادر عن شركة (Doble) و احص بخطوات هـ
[Doble Test Procedure, 72A-2244 Rev.A]

الملحق (5-5)

مجموعة من القيم المرحنة الخاصة بهذا الفحص وفقاً لسورج والشركة لتصنعة اعمارل الإحتراق (Bushing) كما ورد في بشرة المعنية [USBR, Testing and Maintenance of High-Voltage Bushings Vol 3-2].

Table 2 - Manufacturer's P. F. (power factor) limits for bushings			
Manufacturer	Bushing type or class	Initial P.F. for new bushings, at	Dangerous P. F. value at 20 °C (%)
General electric	A	6.0	8.0
	B	10.0	12.0
	F	1.5	2.0
	L	3.0	4.0
	LC	2.5	3.5
	DF	2.8	6.0
	S	3.5	6.0
	U	1.0	1.5
Lepp bushings	POC	0.5	
	PRC	0.7-1.2	
Ohio Brass manufactured prior to 1926 and after 1938	ODOF O L	1-10	Initial P.F. = 22
Ohio Brass manufactured 1926 to 1938, inclusive	ODOF G L	2-4	Initial P.F. = 18
Ohio Brass	Class GK type C	0.4-0.6	
	Class LK type A	0.6-0.7	
Pennsylvania Transformer	P PA PB	0.5	1.0
Westinghouse	D		6.0
	O		1.4
	OCB & Inst. Trans. 69-kV and Below		3.5
	OCB & Inst. Trans. 92-kV to 138-kV		2.8
	Power & Dist. Trans. OCB & 161-kV to 288-kV		2.0

الملحق (5-6)

بعض اعمال المؤثرة في سعة فحص معاملي القدرة والتي قد تؤدي لظهور نتائج فحص مرتفعة أو منخفضة جداً أو معامل قدرة ذو قيمة سالبة كما ورد في كتاب [Jill C. Duplessis, Electric Field Tests for the Life Management of Transformers]

الأسباب المحتملة لارتفاع نتيجة فحص معامل القدرة أو انخفاضها بشكل غير طبيعي أو ظهور معامل قدرة ذو قيمة سالبة	مركبة العزل في المحول
<ul style="list-style-type: none"> ✓ عدم فك الموصلات (القضبان) عن أطراف ملفات الفولتية المرتفعة/المنخفضة ✓ واحدة أو أكثر من عوازل الإختراق حالتها سيئة ✓ تيار تسرب سطحي ذو قيمة مرتفعة نتيجة للظروف الجوية المحيطة. ✓ استخدام المطاط لعزل أسلاك الفحص والحصول على المسافة الكهربائية الفاصلة المناسبة. ✓ خزان محول غير متصل بالأرض. (معامل قدرة ذو قيمة سالبة) ✓ الرطوبة (Moisture). ✓ مسار تأريض مادي غير مقصود. ✓ الملوثات (Contamination) ✓ التقادم (Aging) ✓ التفريغ الجزئي (Partial Discharge) ✓ حرارة الزيت العلوي. 	<p>العزل بين ملفات الفولتية المرتفعة والأرض</p> <p>CH</p> <p>أو</p> <p>العزل بين ملفات الفولتية المنخفضة والأرض</p> <p>CL</p>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ الرطوبة (Moisture) ✓ الملوثات (Contamination) ✓ التقادم (Aging). ✓ التفريغ الجزئي (Partial Discharge) ✓ وافي الملفات البيتية متصل بالأرض. (معامل قدرة ذو قيمة سالبة) ✓ مسار تأريض مادي غير مقصود. ✓ خزان محول غير متصل بالأرض (معامل قدرة ذو قيمة سالبة) ✓ حرارة الزيت العلوي. 	<p>العزل بين ملفات الفولتية لمرتفعة وملفات الفولتية المنخفضة</p> <p>CHL</p>

الملحق (5-7)

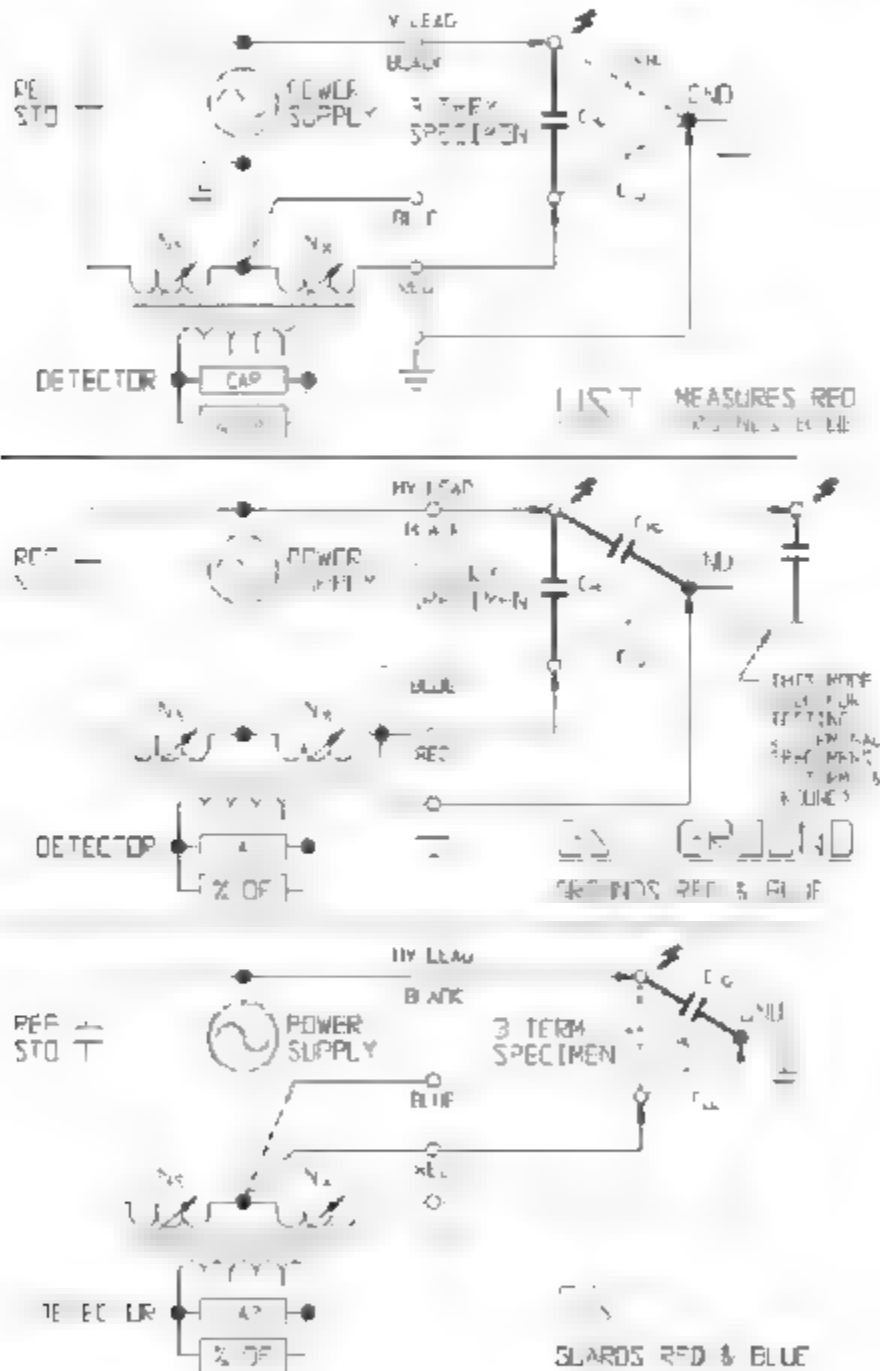
معنى العوامل المؤثرة في نتيجة فحص 'المواسعة' كما ورد في كتاب [Jill C. Duplessis, Electric Field Tests for the Life Management of Transformers]

الأسباب المحتملة لتغير قيمة فحص الموسعة	مركبة العزل في المحول
<ul style="list-style-type: none"> ✓ عدم فك الموصلات (القضبان) عن أطراف ملفات الفولتية المرتفعة/المنخفضة (زيادة في الموسعة) ✓ تشوه في ملفات الفولتية المرتفعة ✓ تغيير عوزل إختراق الفولتية المرتفعة بأخرى ذات أبعاد هندسية مختلفة. ✓ أسلوب فحص (Test mode) خاطئ. ✓ خزان محول مفرغ من الزيت. ✓ خزان محول غير متصل بالأرض. 	<p>العزل بين ملفات الفولتية المرتفعة والأرض</p> <p>CH</p>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ تشوه في ملفات المحول. ✓ أسلوب فحص (Test mode) خاطئ. ✓ خزان محول مفرغ من الزيت. ✓ خزان محول غير متصل بالأرض. 	<p>العزل بين ملفات الفولتية المرتفعة وملفات الفولتية المنخفضة</p> <p>CHL</p>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ عدم فك الموصلات (القضبان) عن أطراف ملفات الفولتية المرتفعة/المنخفضة (زيادة في الموسعة) ✓ تشوه في ملفات الفولتية المنخفضة. ✓ قلب حليدي غير متصل بالأرض. (انخفاض في الموسعة) ✓ تغيير عوزل إختراق الفولتية المنخفضة بأخرى ذات أبعاد هندسية مختلفة. ✓ أسلوب فحص (Test mode) خاطئ. ✓ خزان محول مفرغ من الزيت. ✓ خزان محول غير متصل بالأرض. 	<p>العزل بين ملفات الفولتية المنخفضة والأرض</p> <p>CL</p>

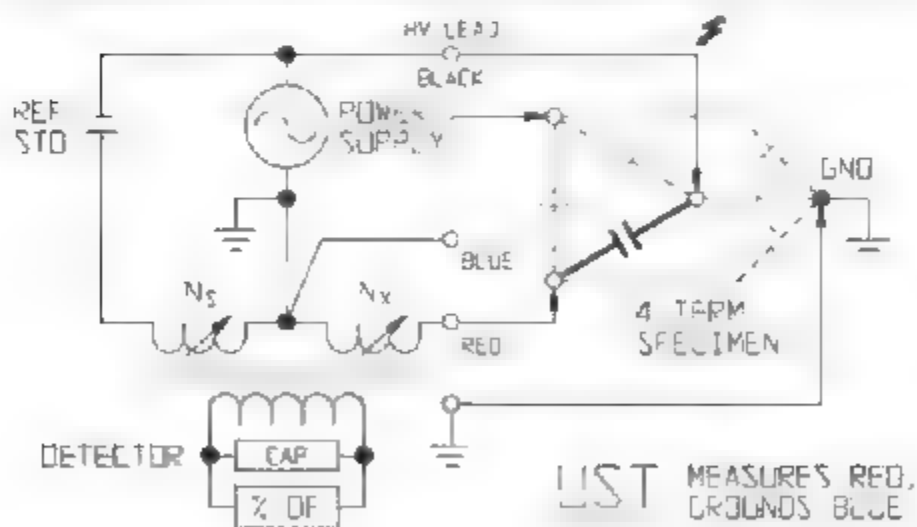
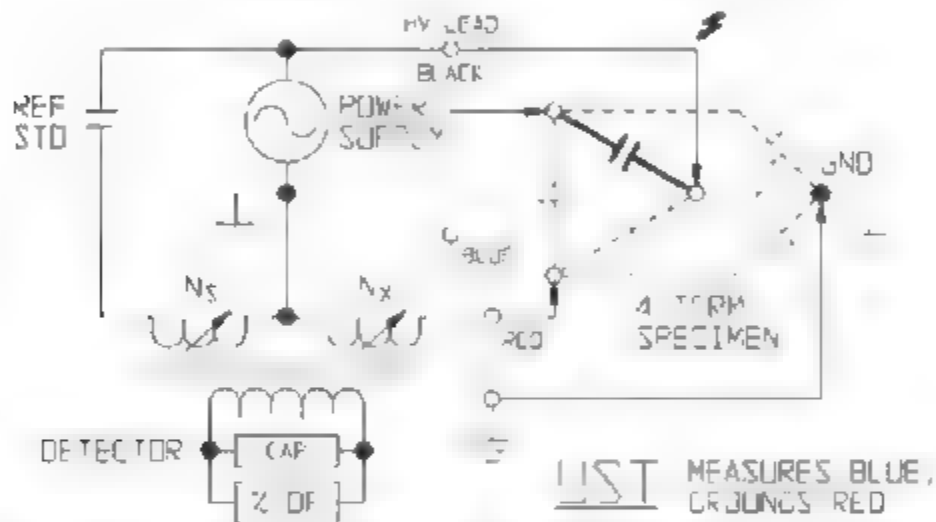
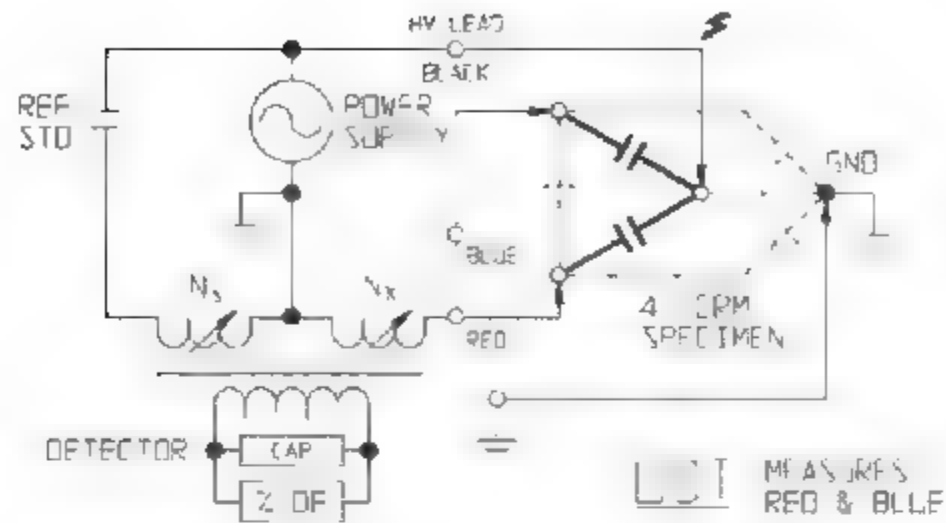
الملحق (5-8)

الرجوع إلى الكتيب التفصيلي للجهاز، 'المحصر' (DETL2000) 'المفصّل' بواسطة شركة (MEGGER) يمكن إعداد توصيلات 'المحصر' المختلفة والتي يتم التوضيح من خلالها كيفية ربط أوصاف الجهاز خارجياً وداخلياً كالآتي:

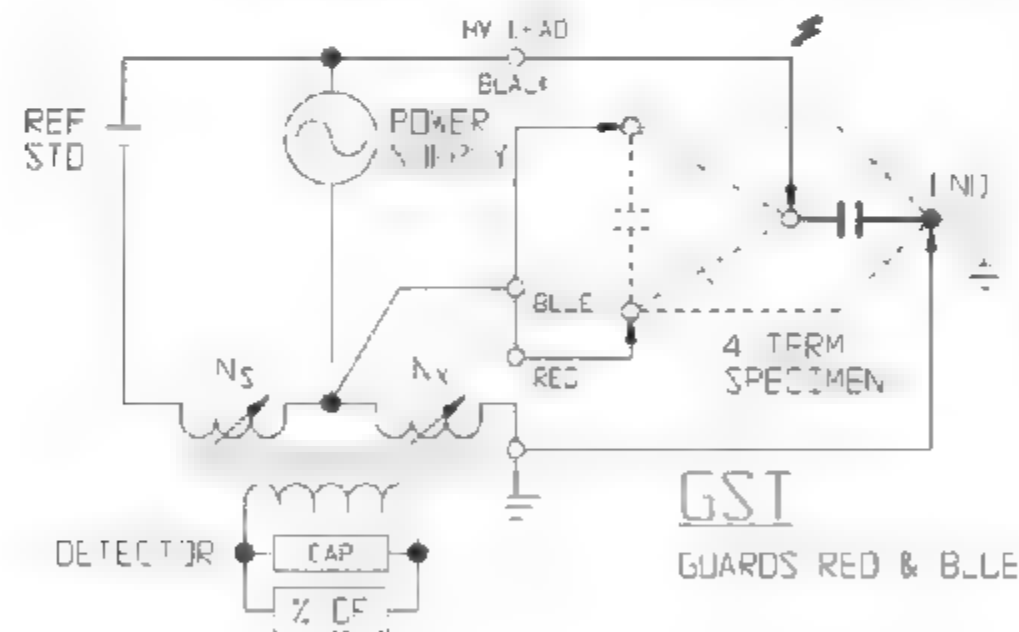
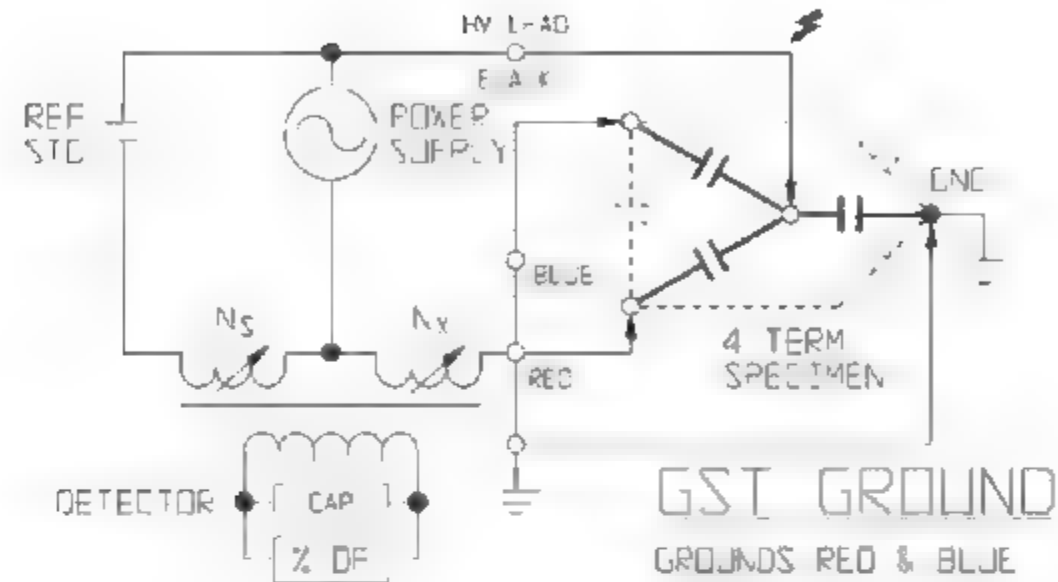
✓ المحولات ثلاثية الأطوار ثنائية الملفات



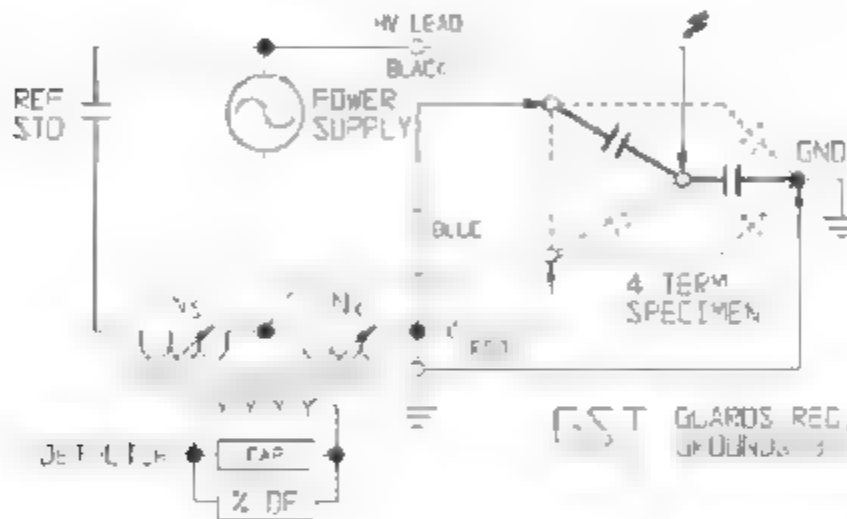
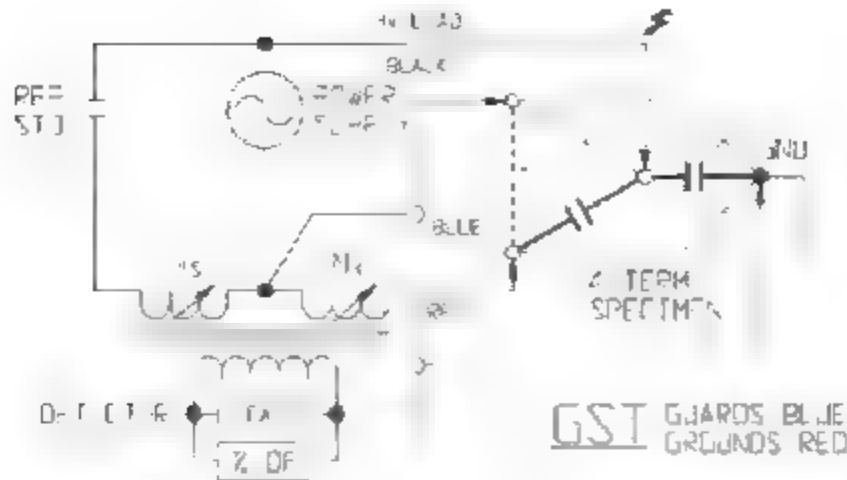
✓ المحولات ثلاثية الأطوار ثلاثية الملفات (UST)



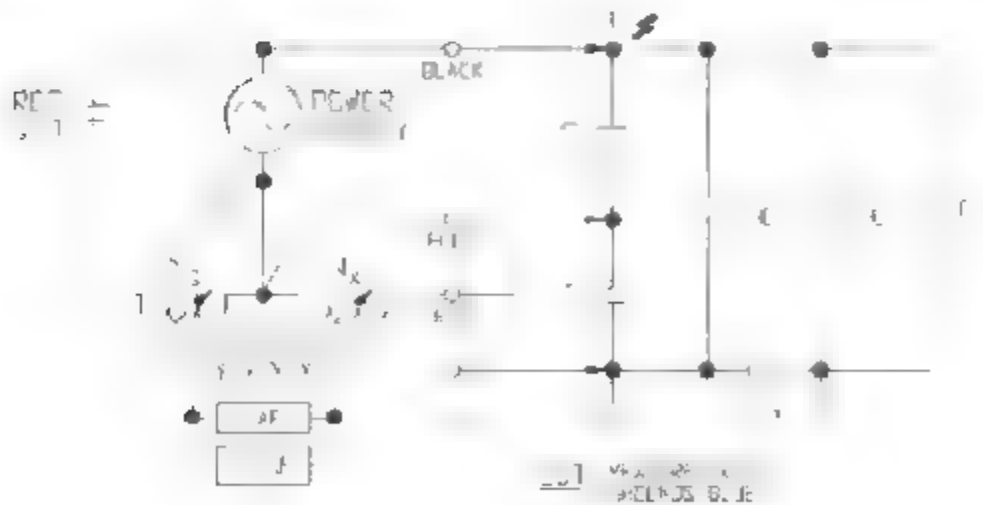
✓ المحولات ثلاثية الأطوار ثلاثية الملفات (GST)



✓ المحولات ثلاثية الأطوار ثلاثية الملفات (GST-Guard)



✓ عوازل الإختراق (UST)



الفصل السادس

فحص تيار التهيج

Excitation Current Test



فحص تيار التهيج

Excitation Current Test

يُعتبر فحص تيار التهيج أو كما يُسمى تيار المعبطة من الفحوصات المهمة لمعرفة لحالة الداخلية للمحول خاصة حالة قلب الحثي للمحول، حيث تُعتبر هذا الفحص عن كمية الطاقة الصادرة في القلب الحثي للمحول عند حمل واحد ملغمانه بولتيه متردد في حين بقي مغناطيس مفتوحة (أي غير موصولة بحمل)، أو بمعنى آخر فإنه يُعتبر عن الطاقة اللازمة لسوء المحول بعمله وهو بناءً على أدلته على تصرفه للشحنة متحقة بتسقي فولتية مترددة على أطرافه لإثبات أنه دون إتصال كهربائي وهو ما يُسمى بالـ (Transformer action)، ويتم معرفة قيمه هذه إضافة لمغناطيس عن طريق قياس قيمه التيار اللازم لمعبطة القلب الحثي للمحول وهو ما يُشار إليه بتيار التهيج أو المعبطة أو تيار الاحمال كما ويُسمى هذا لفحص السحبة المرفعية (Site test) من فحص لثائرة المفتوحة المتصلي (Open circuit test) من حيث مبدأ مع وجود تعريف في طريقة الفحص ونظراً لأن مقدار فولية الفحص أقل من مقدار الفولية لإسمية المحول فإن هذا الفحص يُعد من الفحوصات غير التدميرية (Non-destructive test) أي أنه لا يؤثر على سلامة المادة العازلة في المحول

في المحولات المثالية تكون الطاقة الداخلة (Energy in) مساوية للطاقة الخارجة (Energy out)، ولكن الواقع لا يوجد ما يُسمى بالمحول المثالي وذلك لوجود مكونات بالمحول تسبب تلك الطاقة على شكل ضياعات في حثي حمل (Load) والاحمال (No-load) والتي من شأنها عمل فرق بين الطاقة الداخلة للمحول والخارج منه، ونظراً لأن هذا الفحص يتم إجراؤه أثناء فتح دوائر مغناطيس المثالية للمحول فإنه يُعطي قيمه ضياعات الاحمال أو كما يُسمى بالضياعات الثابتة أو ضياعات النسيب (Core losses) دون اعتبار للضياعات الاحمال (Load losses) لأنها تعتمد على قيمة التيار (I^2R) بشكل رئيسي، في حين أن التيار في هذا الفحص ذو قيمة صغيرة نسبي أسير (mA) بما يعني ضياعات حمل ذات قيمة يُمكن إهمالها وتعتمد ضياعات الاحمال (No-load losses) على نوع المادة ونشكيب الهندسي وسه فإن أي تغير في قيمة هذا الفحص يعكس اختلاف في حالة المغناطيس للمحول ووجود أعطال

وكما ذكر سابقاً فإن سلامة أي محول تتحدد في سلامته ثلاثه أبعاده داخلية للمحول وهي نظام العزل والنظام الميكانيكي والنظام الحراري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل المحول بأكمله، وهذا الفحص يُمكن من الكشف عن سلامة جميع الأنظمة سابقة الذكر

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفعنا لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني للتأكد من سلامة محول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحول (وهو محال بحث في هذا الكتيب) أو لأسباب خاصة أخرى، وتتلخص هذه الأسباب بالآتي:

- 1.1 في المصنع لصبط احوده ، فحصية (Quality Control - QC) وكذلك تُعتبر من فحوصات القبول لفحصية (Factory Acceptance Test - FAT) لتأكد من سلامة المحول ومطابقته لتصميم قبل نقله للموقع
- 1.2 في الموقع قبل كثرية المحول للمرة الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات القبول ، موقعية (Site Acceptance Test - SAT) لتأكد من سلامة المحول بعد بنائه وتركيبه في الموقع
- 1.3 شكل روتيني (Routine test) وذلك للكشف عن وضع المحول الخ في واستحسان نتيجة هذا الفحص كمرجع (Reference value)
- 1.4 تحديد الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل.

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

يتم لحيوة اعمل هذا الفحص بهدف تشخيصي في حال حدوث وصل قسري للمحول (Trip) نتيجة لتفشل شرجل لبوحر (Buchholz Relay) أو في حال ارتفاع درجة حرارة المحول أو في حال ظهور نتائج غير مُرضية لفحص امارات الدث في الزيت (Dissolved Gas Analysis - DGA) خاصة عند ظهور غازات (الميثان CH_4 و الإيثان C_2H_6 و الإثيلين C_2H_4) مُجمعة و هي تُطلق حينها غازات، حمء المعد ، (Hot metal gases) وعداد ما تكون ناتجة عن حمء القلب الحديدي للمحول .

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص:

- وجود قُطع في ملفات المحول (Open circuit)
- وجود دائرة قصر (Short circuit) بين ملفات المحول أو بين الملفات والأرض.
- وجود نقاط توصيل رديئة (Poor connection)
- وجود انفصال في قلب الحديدي (Iron core) ولدي مُثل الدائرة المعدنيسية للمحول كوجود مشكله في تاريس هذا القلب الحديدي أو فشل العزل بين الصفائح ارقبقة المكونة للقلب أو أي عطل يؤدي إلى ارتفاع قيمة مبدعة القلب الحديدي (Reluctance) لسريان القصر المعدنيسي.
- وجود أعطال في مُعَيّر الخطوة (Tap changer).
 - تكرر أو تآكل الملامسات.
 - وجود ارتخاء (Loose) في ملامساته المتحركة
 - فقدان المحاذاة (Misalignment)
 - توصيل خاطئ بين مُعَيّر الخطوة وملفات المحول.
 - توصيل معكوس لأصراف الـ (PA transformer) لمُعَيّرات الخطوة من النوع (Reactive)
 - وجود قُطع (OC) أو دائرة قصر (SC) في ملفات الـ (PA Transformer) لمُعَيّرات الخطوة من النوع الـ (Reactive)

3. فلسفة الفحص

تكمن فلسفة هذا الفحص في تصنيف فوائيه مترددة أحادية الطور (Single phase) على أحد أطوار مصفات المحول، وعدة ما يكون مصفات التواتية المرتفعة مع إلغاء ملفات الفوائية المحفظة مفتوحة (عند نقطة لعداد ين وحت)، ومن ثم يتم قياس التيار المار في الملفات المُنطوق عليها الفوائيه المترددة (عادة مصفات الفوائيه المرتفعة) بالإضافة إلى إمكانية قياس الحساس في القدرة (Watt loss) على هذه الملفات

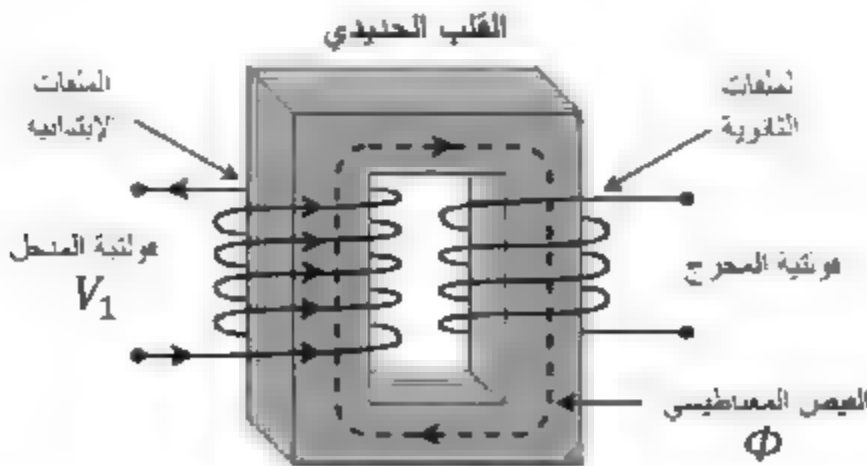
ولكن وقبل الخوض بتفاصيل الفحص وحب التذكير بمبدأ عمل المحول الكهربائي، ولربما لا نلهم سبباً بشرح مبدأ عمل المحول الكهربائي المثالي (Ideal Transformer) عديم الخسائر يعمل المحول المثالي وفقاً لمعادلة حيث أن سعته الإنتائية تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية والمُتَمَتِته بالفوائيه المترددة المُطَمَتِته والتيار الذي يسري في سعته الإنتائية إلى فيض سعته في مصفات حث الحثسي إلى ملفات الثانويه، ومن ثم يتم تحويل هذا الفيض المعناطيسي إلى طاقة كهربائية مرة أخرى مُمَثَلَةً بالفوائيه مترددة على طرفه الثانويه أو ما يُسمى بالقوة مدافعه الكهربائيه (Electro-Motive Force EMF - e) حسب قانون فارادي ديومان وإير وهذا للمعادلة التالية

$$e = -n \frac{d\phi}{dt} \quad (6.1)$$

حيث:

e	قيمة المدافيه بالقوة المدافعه الكهربائيه الموضوعة نتيجة استعريض المصفات المعدل في
n	عدد الملفات
$\frac{d\phi}{dt}$	معدل تغير الفيض المعناطيسي مع الزمن

ومنه يُمكن ملاحظة أن القوة المدافعه الكهربائيه (EMF - e) الناشئة في سلك ضمن دائرة مُعَلَمَة تتناسب مع مقدار التغير في الفيض المعناطيسي الذي يتعرض له السلك (قانون فارادي) ويكون هذه القوة المدافعه الكهربائيه مُعَاكِسَةً للفيض الذي نشأها (قانون لير). لذلك وصفت إشارة السلك في المعادلة (6.1) السابقة.



الشكل رقم (6-1)

وبما أن القوة المُدافعة تُصنعه على الملف، الإندسي (V_1) على شكل موجة جيبية، فإن القيص المُتكوّن سيكون خبي أيضاً ($\phi = \phi_M \sin(\omega t)$) حيث (ϕ_M) تُعتر من قسمة القيص عظمى (Peak value)

$$e = -n \frac{d\phi_M \sin(\omega t)}{dt} \quad (6.2)$$

$$e = -n \omega \phi_M \cos(\omega t) \quad (6.3)$$

ولاً، قيمة القوة المُدافعة الكهربائيّة (e) قيمة مُعاوونه كما هو موضح بالمعادلة (6.3) السابقة، علاه وجود ($\cos(\omega t)$) في المعادلة، فلا تُ من إيجاد قيمة الحذر التربيعي امتوسط ايجيه احرقة (Root Mean Square - RMS) وذلك ب قسمة عوى الحذر التربيعي العدد (2)، حتى يتسنى بنا ايعامل حساباً مع هذه لقيمة بسهولة ويُسر.

$$E = - \frac{n \omega \phi_M}{\sqrt{2}} \quad (6.4)$$

بتعويض قيمة السرعة الزوية (ω Angular speed) المُساوية ($2\pi f$) بالمعادلة، حيث (f) تُعبر عن التردد لتصبح المعادلة كالتالي.

$$E = -4.44 n \phi_M f \quad (6.5)$$

كما ويُمكن الإستعانة من قيمة ابيض المغنطى (ϕ_M) بقيمة كثافة ابيض المغنطى (B_M) مضروبة بمساحة المقطع العرضي لنُقط الحديدي (A) الذي تقطعه خطوط مجال هذا ابيض، يصبح المعادلة كالآتي

$$E = -4.44 n B_M A f \quad (6.6)$$

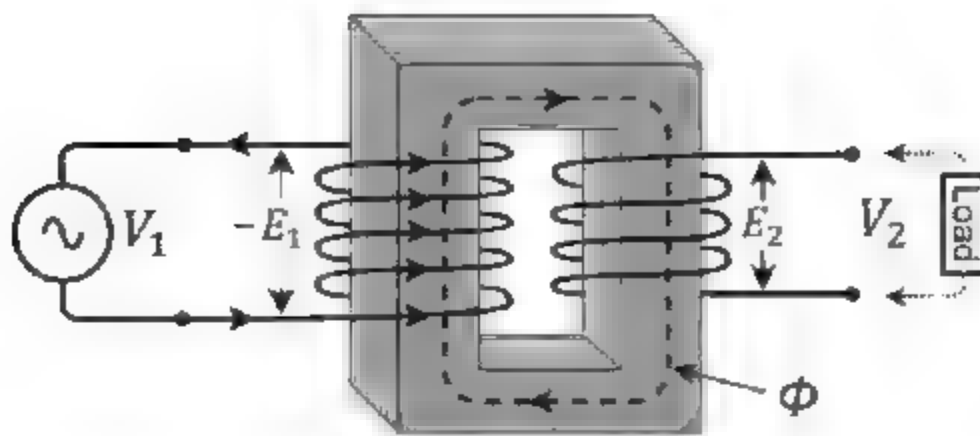
وبذلك نكون قد وصلنا للمعادلتين اللتان بوصحان معذر السوء اندافعه المُتولدة في ابيضات الإندسيّة والثانوية بالترتيب:

$$E_1 = -4.44 n_1 \phi_M f \quad (6.7)$$

$$E_2 = -4.44 n_2 \phi_M f \quad (6.8)$$

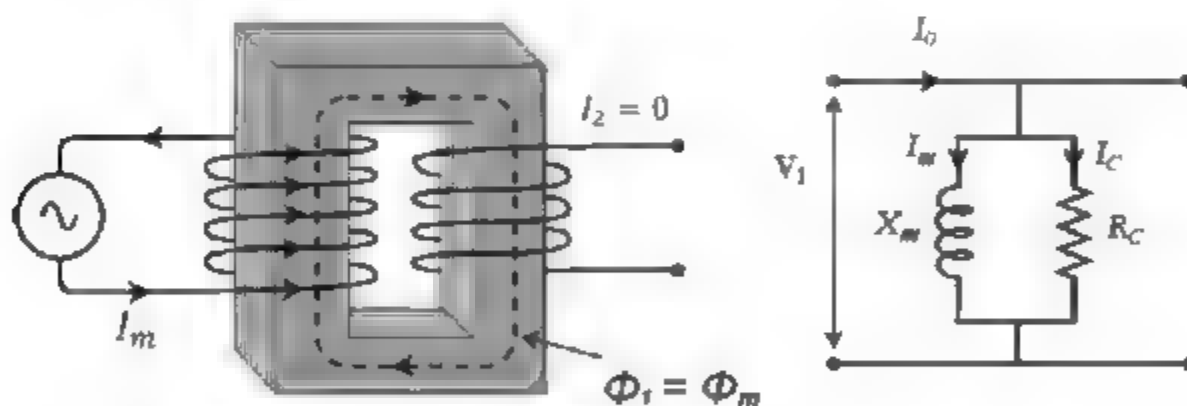
وبقسمة المعادلة (6.7) على المعادلة (6.8) يظهر العلاقة بين التواءية وعدد اللمست في امحولات اعدائية وفقاً للمعادلة التالية

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (6.9)$$



الشكل رقم (2-6)

ولأن هذا المحصل يتم أثناء فتح دائرة الملفات الثانوية للمحول - أي أنه غير متصل بحمل غير صعبات الثانوية - وهو ما يُسمى بحالة اللاحمل (No-Load)، فإنه في هذه الحالة وعند تطبيق لقوسية المبردة على أطراف المحول المثالي الابتدائية يتم سيار بهذه الملفات الابتدائية ذو قيمة عليه (Inrush current) من شأنه تكوين فيض مغناطيسي مُتغير داخل القلب، الحديدي والذي يؤدي بدوره إلى إشعاع لاهل، حديدي ثم سخمض هذا التيار إلى قيمة قليلة ويثبت على وهو ما يسمى بـسر تهبج أو المعطلة (Magnetization Current - I_m) في هذه الملفت مُتبعاً فيض مغناطيسي ابتدائي (Φ_1)، وفي حالتنا هذه - حالة اللاحمل - يُكون هو نفسه السبض للمغناطيسي المشترك (Φ_m) وذلك لعدم وجود فيض مغناطيسي ثانوي (Φ_2) بسبب عدم مرور سيار في الدائرة الثانوية المستوحه للمحول - لعدم وجود حمل-.



الشكل رقم (3-6)

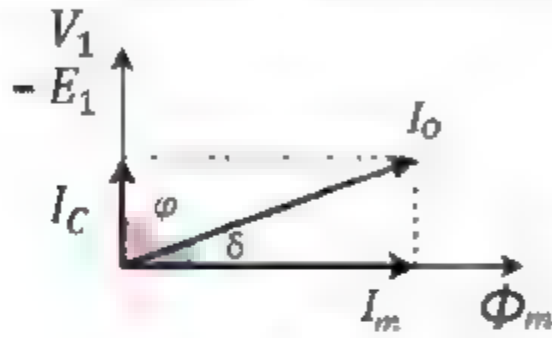
حيث أن هذا الفيض المغناطيسي المشترك (Φ_m) الذي يسقل بشكل كامل إلى الملفت الثانوية عبر القلب الحديدي مُؤدياً إلى ظهور قوة دفعة كهربائية معاكسة ($-E_1$ و E_2) في الملفت الابتدائية و الثانوية بسبب لقطع هذا المجال لهدين الملفين.

فلو نظرنا إلى الملفت الابتدائية سيجد قيمتين لغزلييه، أحدهما قيمه اهزلييه المُعطيه قوتيه المصدر و المشار إليها بأمر (V_1) و الأخرى هي "الموتيه" المتولدة بسبب تأثير الفيض المشترك (Φ_m) على الملفت الابتدائية أو ما يُسمى بالقوة الدفعة الكهربائية (E_1) كم هو مبين بالشكل (2-6)، حيث تكون هذه القوة الدفعة لكهربائيه مُعاكسه لقيمه الفولتية المُعطيه (V_1) حسب قانون لير، أي أن الفولتية

المُحصية ($V_1 - E_1$) المُصنقة على الحلفان الإستدائيه تكون قليله مما يُعسر ظهور تيار تهيج أو سعنته قليل (I_m) وهذا ما تُعرف بظاهرة القوة النافعة الكهريائية المُعاكسة (Back EMF) ويكون هذا التيار مُطابق مُجهداً (in-phase) بعكس المعادليسي المُشتركة (ϕ_m) ومُرخ مُتجهداً بمصدر (90°) عن القوة الدافعة الكهريائية ($-E_1$)

أما قيم يُخص الصناب ،ثانويه، فإن المُعص المُشتركة (ϕ_m) سيؤدي ظهور قوة دافعه كهريائيه (E_2) على أطراف هذه الملفات كما هو مُبين بالشكل (6-2) السابق.

ولأن المحولات امثاله (Ideal Transformers) غير موجود بالواقع وذلك لوجود صناعات أخرى



الشكل رسم (6-4)

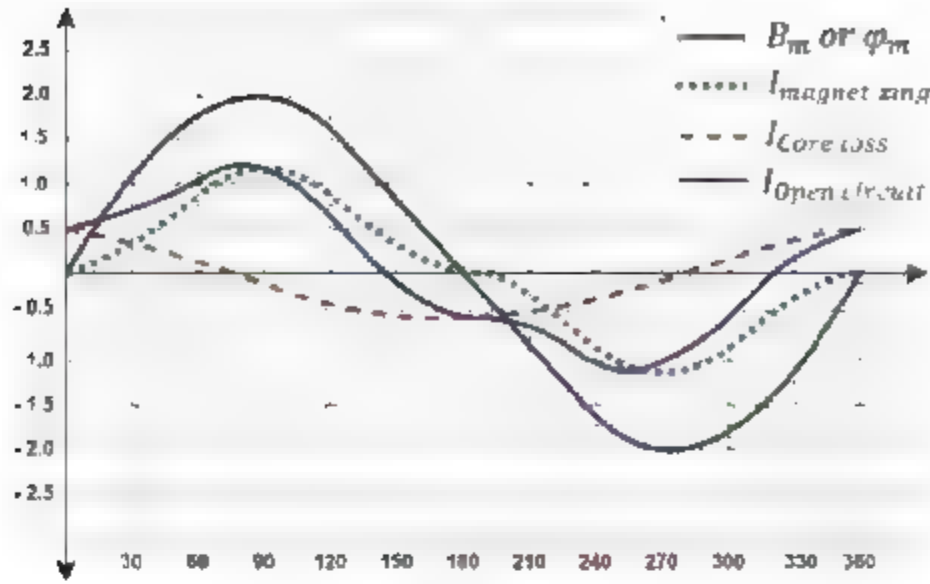
المحول نتيجة للتيارات الدوامية (Eddy currents) في القلب الحديدي وأيضاً لوجود الخاصية الهستيريه (Hysteresis) الناتجة عن تعثر إتجاه قطبية جزيئات المادة المكوّنه للقلب الحديدي تبعاً لتغيّر قطبية الفولتية المُطبقة (AC Voltage) والذي يكون على شكل مغناطيسييه متبقية (Residual flux) مما يعني صناعات إضافية في القوة المغناطيسية داخل القلب

لحديدي، وبعد تصحيح عوليه المُتردده عن الصناب الإستدائيه فهذا مُركبه تيار أخرى تنشأ بالإضافة إلى تيار التهيج أو المعصيه (I_m) سابق الذكر وهو تيار صناعات القدرة أو القلب (Power/Core Loss current) وهذا يُسمى أيضاً تيار صناعات الخس (Fixed Loss current) ويُرمز له بالرمز (I_c) ويكون مُرخ مُتجهداً بمصدر ($+90^\circ$) عن العكس المعادليسي (ϕ_m) ومُبدلي مُتجهداً (in-phase) للقوة الدافعة الكهريائية ($-E_1$) ودورهمة أس من تيار التهيج المعصيه (I_m) كما هو مبين بالشكل (6-4)، والمجموع المُتجهي (Vector sum) لتأدين التيارين (I_c) و (I_m) يُسوي تيار لالحص أو الماثرة المفتوحه (No-Load/Open Circuit current - I_0) والذي يكون مُرخ مُتجهداً عن العكس المُشتركة (ϕ_m) رايه تُسمى رايه الصناعات (Loss Angle - δ)، ومُرخ مُتجهداً عن القوة الدفعة الكهريائية بزويه تُسمى رايه لطور (ϕ - Phase Angle)، ويكون أيضاً دورهمه رايه إذ يتروح مُتقداره (3% - 1%) من المير الإسمي للمحول الكثرة

$$I_{Open\ circuit} = I_{magnetizing} + I_{Core\ loss}$$

حيث أن:

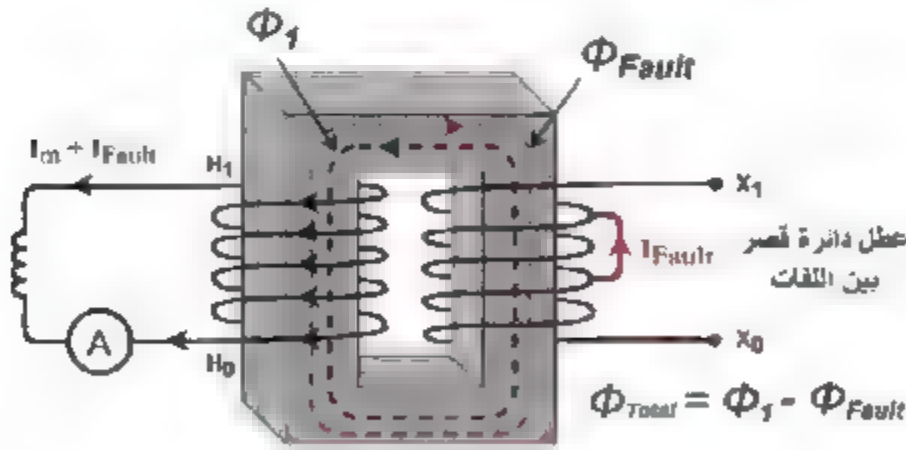
$$I_{Core\ loss} = I_{Eddy} + I_{Hysteresis}$$



الشكل رقم (5-6)

- كيف يُدل هذا الفحص على وجود مشكلة في العزل بين اللفات وكذلك مشاكل القلب الحديدي للمحول:

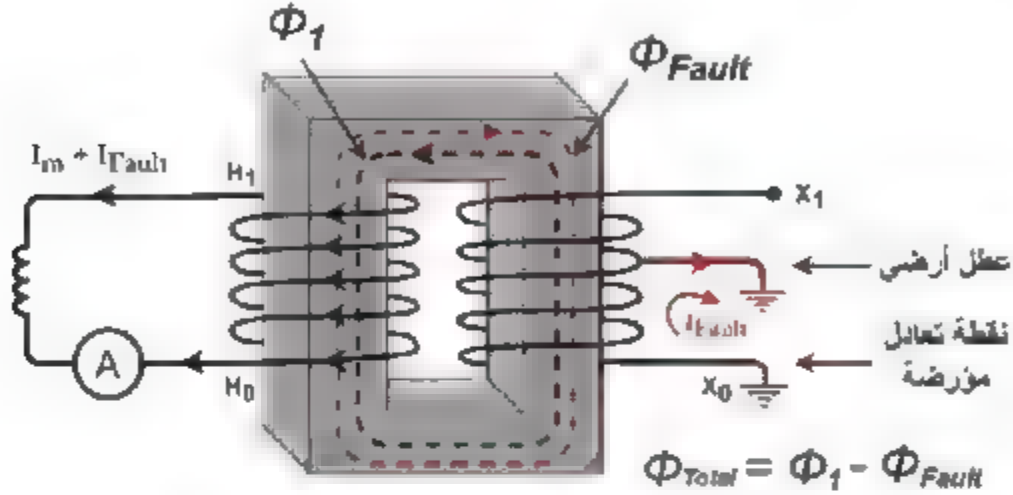
في تدب شرح فلسفة فحص نمت الإحالة عن هذا التصادوا، بالكاس بشكل غير مباشر، فكما ذكر سابقاً فإن قيمته لتيار في ملفات الإنداثية (I_1) تعتمد على قيمة التيار في الملفات الثانوية (I_2)، لذلك عند تطبيق فولتية سرودة على ملفات الإنداثية مع مر عاد فتح تُعرف لملفات الثانوية (كما هو الحال في هذا الفحص) تكون التيار في الملفات الثانوية (I_2) مساوٍ للصفر، يعني أن تيار في ملفات الإنداثية سيكون مساوٍ (I_0) وهو تيار التهيج أو اللاحمل فقط.



الشكل رقم (6-6)

أما في x_1 حدوث قصر بين لفات الملفات الثانوية (Turn to turn fault) كما هو مبين في الشكل (6-6) أو حدوث قصر بين لفات الملفات الثانوية والأرض كما هو مبين في الشكل (6-7)، فإنه سيتمنع عن هذا القصر تيار يسري في ملفات الثانوية (I_2) أي أنه سيصبح للتيار (I_2) قيمة غير مساوية للصفر وسيسري له (I_{fault})، ونتيجة لذلك فإن هذا التيار سوف يُسج فيض عطل (ϕ_{fault}) معاكس لبعض الإنداثي (ϕ_1)

أو (ϕ_m) حافتاً قيمته (E_1) ورفاً قيمته العولثية على طرف العفات الإبتدائية (V_{net}) إتجاهه عن $(V_1 - E_1)$ ، ويتلادم مع ما سبق إرفع في قيمته يار التهييج في الحلفة الإنتدائية (I_0) إضافة مركبه يار حنده لتيار التهييج مع فقد قيمه يار التهييج ثامه وهذا بدوره يدل على وجود هذا النوع من الأعطال (القصر بين الففات) في ملفات المحول الثانوية



الشكل رقم (6-7)

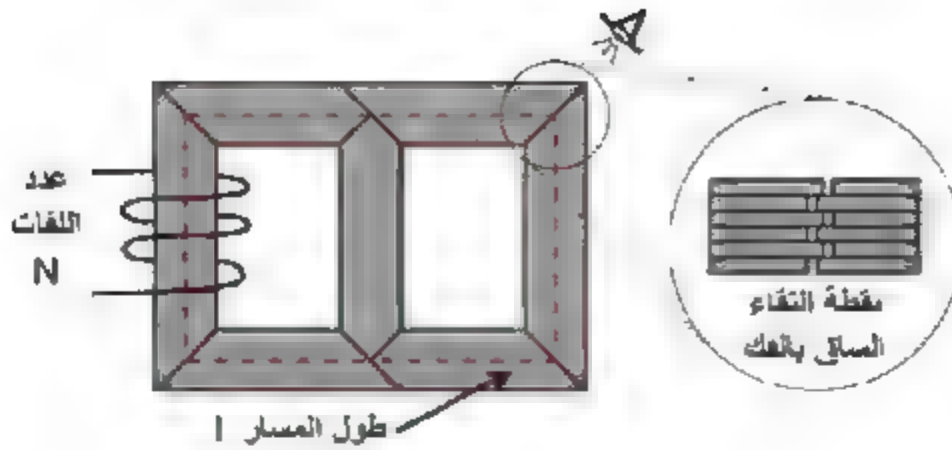
وكما ان ابدال هذا حدوث عدل في القلب الحديدي (Iron core) أي في إرفع قيمة ممانعة القلب (Reluctance - ξ) لسريان الفيض المغناطيسي (ϕ_1) أو (ϕ_m) كحدث تعير في تركيبة القلب الحديدي لمحور دمج عر تعير لطول المسار الحامل للمغناطيسية أو تعير في مساحة مقطع القلب الحديدي ووفقاً للمعادلة 6.10 أي نفس أن أي تعير فيزيائي (ميكانيكي) لتركيب القلب الحديدي سيعكس على قيمة ممانعة القلب (Reluctance - ξ)

$$\xi = l / \mu A \quad (6.10)$$

حيث:

ξ	ممانعة القلب الحديدي لمرور الفيض المغناطيسي (Reluctance)
l	طول المسار المغناطيسي داخل القلب الحديدي.
A	مساحة المقطع العرضي للقلب الحديدي.
μ	النفاذية المغناطيسية للعادة المكوّنة للقلب الحديدي (Permeability)

بالإضافة إلى أي تعير قد يحدث على نقطة الإتصال بين الساق (Limb) و العك (Yoke) حيث يمثل هذه النقطة لمكان الأكثر تأثيراً على قيمة ممانعة القلب الحديدي سريان الفيض المغناطيسي



الشكل رقم (8-6)

وهذا التدفُّق في قيمة مُعاينة العنصر الحثي (Reluctance - ξ) يؤدي إلى ارتفاع في قيمة تيار التهييج في الملفات لإتساف (I_0)، إضافة مركبة تيار حثية لتيار التهييج مع تفاعل تيار التهييج نفسه وفقاً لمعادله (6.11) الذي يحدد عن قيمة الفيض المغناطيسي الإسمي لمحول (ϕ_1) أو (ϕ_m) ثابتة، مما وهذا بدوره يُدَل على وجود عطل في قلب الحثي (Iron core) للمحول

$$\phi_m = \frac{mmf}{\xi} = \frac{N \cdot I}{\xi} \quad (6.11)$$

حيث:	
mmf	القوة الدافعة المغناطيسية (Magnetomotive Force)
ϕ_m	الفيض المغناطيسي المشترك.
ξ	مُعاينة القلب الحثي لمرور الفيض المغناطيسي (Reluctance).
N	عدد اللفات.
I	التيار.

4. طرق الفحص

هناك عدة طرق يمكن من خلالها إجراء هذا الفحص بحيث يتم إعطاء الطريقة وفقاً لمجهز الموجود بالموقع وتوافرية المعدات اللازمة لهذا الفحص:

4.1 الطريقة التقليدية:

تُعد هذه الطريقة الأوسع في قياس تيار التهييج وذلك باستخدام مصدر فولتية متردد أحادي الطور ذو فولتية تصل (10kV) كيلوفولت وتتردد (50Hz) هيرتز مع دائرة قياس تيار بالملي أمبير (mA)، بحيث تُسجّل دائرة الفحص تطبيق أسلوب العينة غير المؤرصة (UST) في قياس التيار الرجوع في دائرة فحص (LV cable) وفي تيار أخرى يتم تحيدها عبر (Ground Guard) كما هو مبين بالشكل (6-9) الذي يوضح دائرة فحص مُبسطة مكونة من مصدر فولتية ومقياس فولتية وتيار.



- ملفات محول موصولة على شكل نجمة (Y - Star) ذات نقطة تعادل (Neutral point) يُمكن الوصول إليها (ظاهرة)

المشكل رقم (10-6)

احدول (6-1) يُبين لأدرف اي يجب جمعها بالعولنة المتعددة والأطراف، وجم أريدوها، لإضافة
للأطراف الواجب تركها مفتوحة

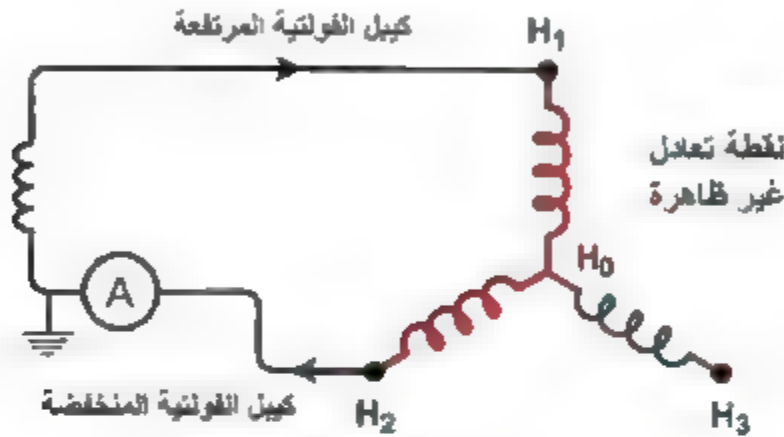
الجدول رقم (٦-١)

أطراف الحقن	أطراف القياس	أسلوب الفحص	الأطراف المؤرصة	الأطراف المفتوحة
H1	H0	UST	X0* Y0*	H2H3 X1X2X3 Y1Y2Y3
H2	H0	UST	X0* Y0*	H1H3 X1X2X3 Y1Y2Y3
H3	H0	UST	X0* Y0*	H1H2 X1X2X3 Y1Y2Y3

* في الجدول السابق وفي حال كانت ملفات المحول الثانوية (المولدة المخفضة) موصولة على شكل نجمة (Star Y) يجب الإبقاء على حالة نقطة التعادل (X0) و/أو (Y0) أثناء الفحص مؤرخة كم، هي بوضع التشعيل الطبيعي للمحول، أي تأريضها إذا كانت إذا كانت مؤرخة وتركها مفتوحة إذا كانت كذلك.

• ملفات محول موصولة على شكل نجمة (Star - Y) ذات نقطة تعادل (Neutral point) لا يمكن الوصول إليها (غير ظاهرة).

لشكل (6-11) يوضح توصيله بمصدر الفحص بملفات محول موصولة على شكل نجمة (Star - Y) ذات نقطة تعادل (Neutral point) لا يمكن الوصول إليها (غير ظاهرة)



الشكل رقم (6-11)

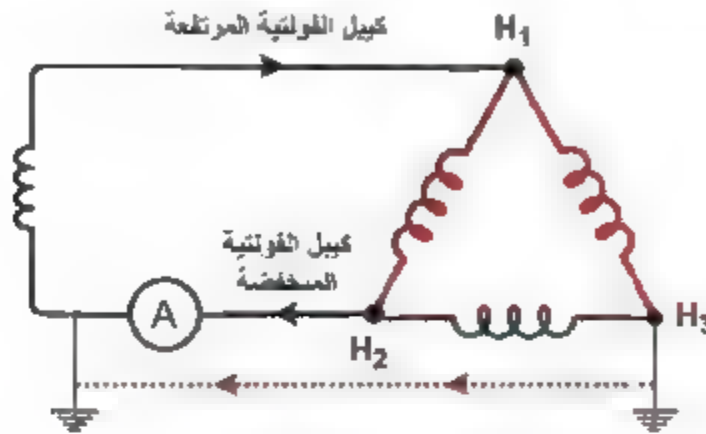
الجدول (6-2) يبين الأطراف التي يجب فحصها بالفولتية المترددة ولأطراف الواجب تأريضها بالإضافة للأطراف الواجب تركها مفتوحة

الجدول رقم (6-2)

أطراف الحقن	أطراف القياس	أسلوب الفحص	الأطراف المؤرخة	الأطراف المفتوحة
H1	H2	UST	X0* Y0*	H3 X1X2X3 Y1Y2Y3
H2	H3	UST	X0* Y0*	H1 X1X2X3 Y1Y2Y3
H3	H1	UST	X0* Y0*	H2 X1X2X3 Y1Y2Y3

* في الجدول السابق وفي حال كانت ملفات المحول الثانوية (المولدة المخفضة) موصولة على شكل نجمة (Star Y) يجب الإبقاء على حالة نقطة التعادل (X0) و/أو (Y0) أثناء فحص كم هي بوضع التشعيل الطبيعي للمحول، أي تأريضها إذا كانت إذا كانت مؤرخة وتركها مفتوحة إذا كانت كذلك.

- ملفات محول موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)
- الشكل (6-12) يوضح توصيلة مصدر الفحص بملفات محول موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ).



الشكل رقم (6-12)

الجدول (6-3) يُبين الأطراف التي يجب فحصها بالفولتية المبردة ولأطراف الواجب تأريضها بالإضافة الأطراف الواجب تركها مفتوحة

الجدول رقم (6-3)

أطراف الحقن	أطراف القياس	أسلوب الفحص	الأطراف المؤرضة	الأطراف المفتوحة
H1	H2	UST	H3 X0*, Y0*	X1X2X3 Y1Y2Y3
H2	H3	UST	H1 X0*, Y0*	X1X2X3 Y1Y2Y3
H3	H1	UST	H2 X0*, Y0*	X1X2X3 Y1Y2Y3

* في حال كانت ملفات المحول ثنائية الترميز (الموسومة بالخصصة) موصولة على شكل نجمة (Star Y) يجب إبقاء على حالة نقطة تعادل (X0) و / أو (Y0) أثناء الفحص كما هي بوضع شنتين عظميين للمحور، أي تأريضها، إذا كانت مؤرضة وتركها مفتوحة إذا كانت كذلك.

4.2 فحص توصيلة أجهزة الفحص الحبيثة وعدة ما يجرى هذا الفحص باستخدام أجهزة الفحص نفسها المستخدمة في فحص معادل التمدد/القدرة (المعق (6-1) يوضح خطوات الفحص المُستَعمل باستخدام جهاز الفحص (Delta 2000) المُصنَّع بواسطة شركة (MEGGER)

5. خطوات الفحص

بعد التعرف على فلسفة فحص وظرفي جرافة والموصلات اللازمة لذلك، يُمكن البدء بخطوات الفحص كالاتي

5.1 عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع مراعاة تطبيق نظام (إفلات مصادر

لطاقته ووضع لافتات عليه) أو ما يُسمى بنظام التعامل (Lock-out Tag-out LOTO)

5.2 عزل نظام مكافحة حريق بالماء (أو كما يُسمى بنظام تبريد حرار المحول ومنع إنتشار للحريق) الخاص

بالمحول المُفرغ فحصه حشبه عمس النظام بشكل خاص أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي لمخاطر

للموس الكهربائي وما يفضوي عليه من مخاطر على الأشعة من أو المحول خاصه أثناء تطبيق لقولتيه

على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز الفحص نفسه.

5.3 تطبيق كافة إجراءات السلامة الخاصه بإجراء الفحوصات (كهربائيه المُتضمنه في معايير معهد

مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE Recommended Practices for Safety in High-

Voltage and High-Power Testing] و المعهد الوطني الأمريكي للمعيار [ANSI National

Electrical Safety Code] و مُنظمه إدارة السلامة والصحة المهنية [OSHA Specifications

for Accident Prevention Signs and Tags]

5.4 فتح أحراف الفولتية المنخفضة (LV side terminals) والفولتية المرتفعة (HV side terminals)

وذلك بإزالة الموصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذلك إحداث نقطة

لتعادل (Neutral point) الخاصه بالمعدات التي سيتم تطبيق لقولتيه عليها إن وجدت (عادةً

معدات اموئية المرتفعة). مع مراعاة تراء نقطة التعادل (Neutral point) الخاصه بالمعدات ذات

الدارة المفتوحة موصولة بالأرض (عادةً ملقات الفولتية المنخفضه)

5.5 تبريع الشحبات المُخرجة لمعدات المحول (Trapped Charges) قدس وضعين كومن الفحص وذلك

بعمل دائرة قصر لمعدات (Short circuit) وتاريخها لمدة من زمن وكذا ذلك بعد الإنتهاء من

لفحص وقبل إزاله كوابل الفحص. بالإضافة إلى تأريض حزن المحول أثناء إجراء الفحص

تحذير يكون تأريض كوابل المواسب المرتفعه إما عبر مُستعجلات اتأريض الدثنة

(Earthing Dis-connector) أو المنقلة (Portable) قبل التأكد من عدم الكوابل

عن عوارض احتراق المحولات (Bushings)، وذلك لما قد تنحويه من فولتية حثيه

(Induction voltage) ناتجة عن المعدات أو الخطوط الهوائية (Overhead Lines)

(- OHL) المجاورة للمحول المُراد فحصه والمشحونة بقولتيات مرتفعة.



5.6 في حال سبق إجراء هذا الفحص إجراء أي من الفحوصات التي تعتمد على الفولتية الثابتة (DC) مثل

فحص مقاومته أعمار (Insulation resistance) أو فحص مقاومته لفصت (Winding

Resistance) يجب إزاله المعنططيسية المُتبقية (De-magnetization) بالطرق لوارده في نهاية

لفحصه سبقي ذكر (الفصل الثاني والثالث)، وذلك لأن نتيجة هذا الفحص تآثر بشكل كبير بقيمة

المغنططيسية المُتبقية وبشُع القلب الحديدي للمحول.

5.7 تحديد وضعية مُعَيِّر الخطوة (Tap changer)

- يُصبح بإجراء هذا الفحص لأسباب تشخيصية على وصفتاب مُعَيِّر الخطوة (Tap changer) التالية
- ✓ على جميع خطوات (Taps) مُعَيِّر الخطوة من النوع (OLTC)
 - ✓ خطوة المنتصف أو خطوة التعديل بالإضافة إلى خطوة لأعلى وخصوة لأسفل عن نقطة التعديل
 - للمُعَيِّر الخطوة من النوع (OLTC) هذا كما ورد في اإعيار القواعد عن معهد مهندسي كهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.152-2013]
 - ✓ اأحصوة التشغيلية الإنشائية التي كان عليها لمحول أثناء عمله انطسي في حال كان مُعَيِّر الخطوة من النوع (DETC or OCTC)

ففي حال أردت تحليل نتائج هذا الفحص من طريق ملاحظة التباين بين الأقطار أي مباشرة نتائج الفحص بين الأقطار الثلاثة (Phase Pattern) كما سيتم شرحه لاحقاً في فقرة تحليل نتائج الفحص، فإنه يتم لإكتفاء بإجراء هذا الفحص عند خطوه مُحددة من خطوات مُعَيِّر الخطوة (Tap changer) وعادة ما تكون الخطوة المرحجة أو التشغيلية، أم في حال أردنا تحليل نتائج الفحص من ملاحظة التباين بين الخطوات لمحتلفه مُعَيِّر الخطوة (Tap changer Pattern) فإنه يُصبح بإجراء هذا الفحص على جميع الخطوات (Tap)

5.8 عمل التوصيلة الخاصة بهذا الفحص كما هو مبين في الشكل (6-10) للمبدات الموصولة على شكل مثلث بحمة (Star - Y) بنقطة تعادل الماهرة ونمكن 'وصول إليها' أو اشكل (6-11) المبدات الموصولة على شكل بحمة (Star Y) بنقطة تعادل غير ماهرة ولا يمكن الوصول إليها، أو الشكل (6-12) للملفات الموصولة على شكل (Delta - Δ)

5.9 تحديد فولتية الفحص.

يجب إجراء هذا الفحص عند مستوى فولتات مرتفع بحيث لا يتعدى قيمة الفولتة لإسمية (L-L) للمبدات لمحول الموصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)، وأن لا يتعدى قيمة الفولتية لإسمية (L-N) للمبدات الموصولة على شكل بحمة (Star - Y)، حيث أن النسبة لقصبة من هذا الفحص عدة ما يتم إجراؤها عند مستوى فولتية مقداره (100%) بالمئة أو (110%) بالمئة من الفولتية لإسمية، ونعتراً صعوبة الحصول على فولتية فحص مرتفعة في المواقع عدة ما يتم لإكتفاء بإجراء هذا الفحص على فواست مائة فارة (10kV) كيلوفولت أو أقل (2.5kV) كيلوفولت أو كما يتج جهاز الفحص، ومن ثم يتم تصحيحها داخلياً في جهاز الفحص إلى الفولتية المُرادَة

ملحوظة (6-1): في حال ظهور تيار نهيج مرتفع فوق قدره خرج أجهز الفحص فإن أجهز الفحص أحدة سوف توقف الفحص تلقائياً، عندها يمكن تفصل فواست الفحص وإعدة الفحص مرة أخرى وعادة ما يظهر تيار نهيج المرتفع عند فحص محولات التوزيع قبيلة السعة أو في حال وجود أعصال يُصر بين المبدات أو في حال كان نوع مُعَيِّر اأحصوة (Reactive OLTC) عند لحظة (Bridging) كما سيتم شرحه لاحقاً



5.10 البدء بالفحص وفقاً لخطوات أحمسه في المصحق (6-1) لفحص جهاز الفحص (DELTA2000) المُصنَّع بواسطة شركة (MEGGER)

6. تصحيح القيمة المُقاسة

نعمنا قيمة تيار التهييج على قيمة فولتية الفحص لذلك عند مقارنته هذا الفحص بفحوصات سابقة نفس المحول يجب التأكد من أنها تم إجراؤها عند نفس مستوى الفولتية، ولكن في حال اختلاف قيمه فولتية الفحص بين الفحوصات السابقة والحالية فإنه يصعب مقارنتها بشكل صحيح، ومنه يريد الأمر صعوبة أن ندير التهييج لا يربط بشكل خطي مع مقدار فولتية الفحص لذلك يصعب تصحيحه حسابياً

يقوم أجهزة الفحص الحديثة بتصحيح القيمة المُقاسة تلقائياً عند أي فولتية فحص إلى لـ (10kV) كيلوفولت داخلياً ليستنى تحليلها ومقارنتها بسهولة ويُسر.

7. تحليل نتائج الفحص

يُعد فحص تيار التهييج (Excitation current) من الفحوصات التي لا تعتمد على وجود قيم مرجعية (Reference value) أو نتائج فحوصات سابقة ليتم المقارنة بها بشكل رئيسي، وتحليل نتائج هذا الفحص لابد من معرفة الأنماط الشائعة للنمط الناتجة عن هذا الفحص والتي تنقسم لنوعين رئيسيين؛ الأول عند مقارنته بنتيجة فحص أحادي الطور بين الأحمال وهو ما يُسمى بنمط المرور (Phase Pattern)، والثاني تبعاً لنوع مُغير الخطوة وهو ما يُسمى بنمط مُغير الخطوة (Tap changer Pattern)، بحيث يتم تطبيق هذه الأنماط على تيارات التهييج بالإضافة إلى حسابات الخسارة أيضاً (Watt loss)

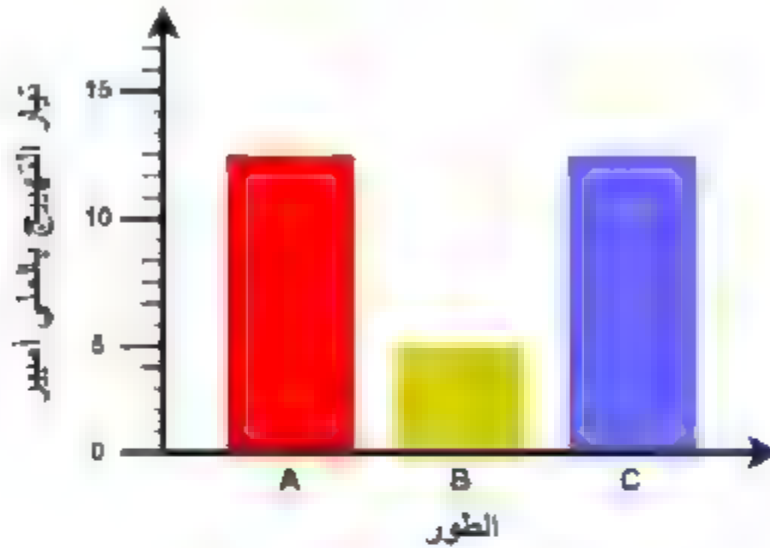
7.1 المقارنة بين الأطوار المختلفة مع ثبات فولتية الفحص وخطوة مُغير الخطوة (Tap changer) وهذا ما يُسمى بنمط الطور (Phase Pattern).

عند إجراء هذا الفحص على أسلاك المحول المختلفة كلاً على حدة، فنظهر مجموعة من أنماط القراءات أثناء التهييج والتي من خلالها يتم تحديد نتائج هذا الفحص وتُسمى هذه الأنماط بأنماط المرور (Phase Patterns)، وتتلخّص هذه الأنماط بشكل كبير بالمحانة الميكانيكية للقلب الحديدي وسماخته الميكانيكية (Reluctance) مرور بعض الميكانيكي والتي تعتمد بشكل رئيسي على تركيب القلب الحديدي. وتنحصر هذه الأنماط بالأنماط الخمسة الآتية

• النمط الأول: مرتفع - منخفض - مرتفع (H - L - H)

في هذه النمط يكون قراءات تيار التهييج لللفائف الموجودة على أطراف القلب الحديدي متساوية وأكثر من قيمة تيار التهييج منصف الطور الأوسط لذلك يُرمز لهذا النمط (H-L-H) كما هو مُبين بالشكل (6-13)، وارجوع إلى الشرة التقنيه الصادرة عن المجلس الدولي للأتمتة الكهربائية كبيرة [CIGRE, Guide for Transformer Maintenance 445] فيه عادةً ما يكون قيمة التدفق في التيار بطورين المُفترض أن يكون قيمتهما متقاربة قرانه الـ (5%) بألمته ويكون مقدار تيار التهييج للطور الأوسط أقل منهم قرانه الـ (30%) ألمته ثم الكتاب [Jill C. Duplessis, Electrical Field Tests for the Life Management of Transformers] فقد أورد قيمة تباين قيمه تيار التهييج بين الطورين المُفترض أن قيمته متقاربة قرانه الـ (10%) بألمته في حال كانت قيمه تيار التهييج لا تزيد عن أو تساوي (50mA) مي

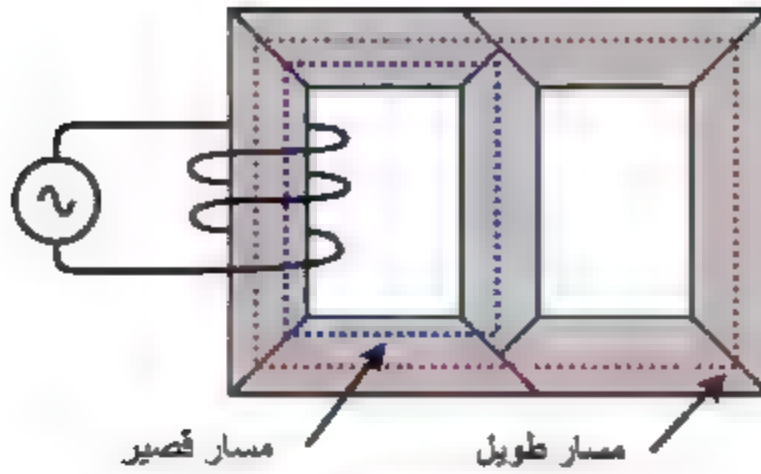
أميز وما مقداره (5%) في حال كانت قيمة تيار التهييج يزيد عن (50mA) ملي أمبير. وأي قيمة تزيد أكبر من تلك المذكورة أعلاه فإنها تدعو للبحث المُعَقَّق ورء اختلاف قيمة هذه التيارات والتي قد تقود لإكتشاف الأعطال لتحل المحول.



الشكل رقم (6-13)

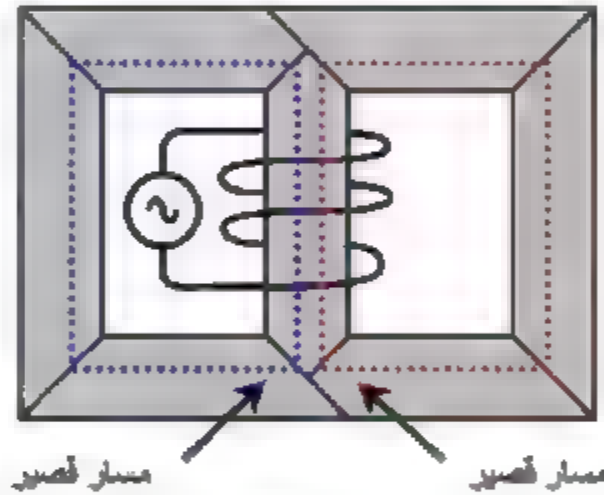
- ويُتَوَقَّع أن يظهر هذا النمط من القراءات تيار التهييج عند فحص المحولات في الحالات التالية
- ✓ محول ذو قلب حديدي ثلاثي الأعمدة (Core type) ملغاه موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) كما هو مبين بالشكل (6-12)
 - ✓ محول ذو قلب حديدي ثلاثي الأعمدة (Core type) ملغاه موصولة على شكل نجمة (Star - Y) ذات نقطة تعادل (Neutral point) يمكن الوصول إليها (مضخة) كما هو مبين بالشكل (6-10)
 - ✓ محول ذو القلب حديدي خمسي الأعمدة (Shell type) ملغاه موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)

وبعض سبب الحصول على هذا النمط من القراءات (H-L-H)، إلى أن مقدار تيار التهييج كما ذكرنا سابقاً يتناسب طردياً مع مُعَامِلَةِ النَسَبِ الحَدِيدِي (Reluctance - ξ) والتي تعتمد بدوره على تركيب القلب الحديدي كطولوا الفك (Yoke) والعمود (Limb) كما هو مبين بالمعادلة (6.10) و الشكل (6-8) لذلك فإنه عند تطبيق قولانية مبردة على ملفات المحولات المثبتة على عمود (Limb) القلب الحديدي العرجي أي عادة طور (A) أو (C)، نشأ مسارين لتفصيل المعنطية المتكوّن في القلب حديدي حيث يكون أحدهما قصير والأخر طویل كما هو مبين بالشكل (6-14)



الشكل رقم (6-14)

أما عند توصيل فولتية مترددة على ملفات الطور المثبتة على عمود القلب الحديدي الأوسط أي عدة أطوار (B)، يشأ مسارين قصيرين لبعض المعاميسي المتكون كما هو مبين بالشكل (6-15)

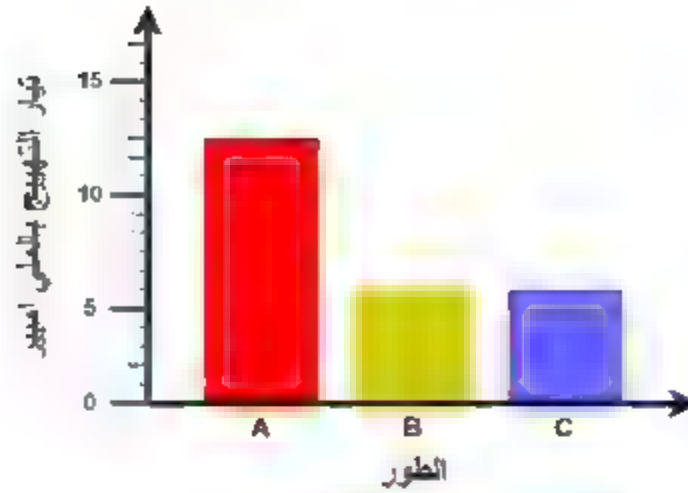


الشكل رقم (6-15)

وستدبره شكل (6-14) بالشكل (6-15) فيه يمكن ملاحظته أن الطول المسار (I) الذي سيسلكه الفيض المعطيسي في حال توصيل الفولتية على الملفات التي على الأطراف أكثر من طول المسار الذي سيسلكه عند تطبيق امومية على المحور الأوسط مما يفسر زيادة كفاءة القلب (Reluctance) لمرور الفيض المعطيسي وحيث زيادة قيمة تيار التهج المتكون في المعصب على لأطراف، والعكس بالعكس عند تطبيق الفولتية على الملف الأوسط

• النمط الثاني: مرتفع - منخفض - منخفض (H-L-L)

في هذه النمط يكون قراءات تيار تهيج متساوية لطورين من أطوار المحو، والطور الثالث يكون قيمته أكبر منهما لذلك ترمز لهذا النمط (H-L-L) كما هو مبين بالشكل (6-16)، حيث يُسمح بنسبة تدفق بين قيم تيارات الطورين متساويين، قيمه (L-L) قر به (10%) وأي قيمة سائر أكبر من ذلك تدعو لبحث لمُعقّق وز، اختلاف قيمه هذه التيارات وحي قد يعود لإكتشاف الأعطال داخل المحول



الشكل رقم (6-16)

وَتُتَوَقَّعُ أن يظهر هذا النمط من قراءات تيار التهييج عند فحص محول ذو فست حديدية ثلاثي الأعمدة (Core type) ملغية ومحمولة على شكل حزمة (Star - Y) دائرة نصفية بعدد (Neutral point) لا يمكن الوصول إليها أي أنه موصول على شكل حزمة واحدة ويكون نقطة التعادل غير ظاهرة كما هو مبين بالشكل (6-11).

ويعود سبب الحصول على هذا النمط من القراءات (H-L-L)، إلى عدم إمكانية إجراء القياسات بشكل أحادي الطور (Single phase measurements) ولأنه من تطبيق الطريقة على طورين موصولين على التور كما هو مبين بالشكل (6-11)، فكما تم شرحه في النمط السابق (H-L-H) أن الدور الأوسط (B) يكون ذو قيمة تيار تهييج أقل لذلك في حال وصله على التوالي مع أحد الدورين الآخرين (A - B) و (B - C) فإنه سيؤدي لانخفاض قيمة تيار التهييج الكلية عن قيمة تيار التهييج عند القياس على الطورين (A - C) وهذا بدوره يُفسر بظهور هذا النمط من قراءات تيار التهييج (H-L-L).

والحدود (6-4) تبين ظهور هذا النمط عند فحص محول ذو مجموعة توصيل (Yd).

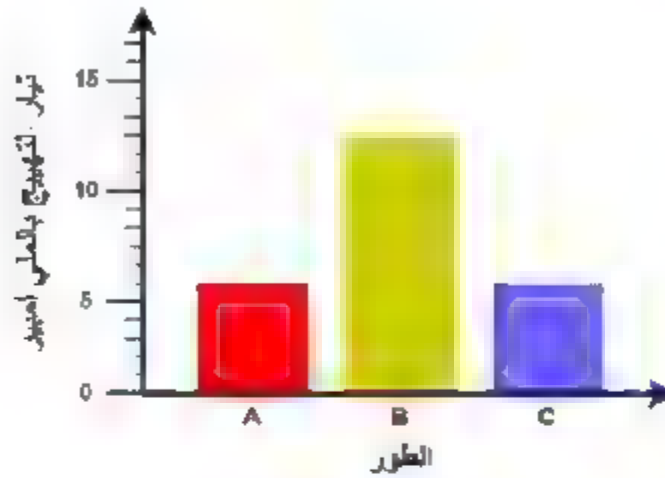
الجدول رقم (6-4)

الطور المُقاس	توصيفة الفحص	التيار المُتوقع حسب الطور	التيار الكلي المُتوقع
A و B	H1 - H3	مرتفع + مرتفع	مرتفع
A و B	H2 - H1	منخفض + مرتفع	منخفض
B و C	H3 - H2	مرتفع + منخفض	منخفض

• النمط الثالث: منخفض - مرتفع - منخفض (L - H - L)

في هذه النمط تكون قراءات تيار التهييج للحملات الموجودة على أطراف الفست الحديدية تقريباً متساوية وأقل من قيمة تيار التهييج لمعدات الدور الأوسط لذلك يُمرر لهذا النمط (L-H-L) كما هو مبين بالشكل (6-17) كما ويُعد هذا النمط أقل شيوعاً على المعيص من الأنماط سابقة الذكر، إلا أنه من غير المتوقع الحصول على هذا النمط عند فحص محول قدره (Power Transformer) ولكن يمكن الحصول عليه

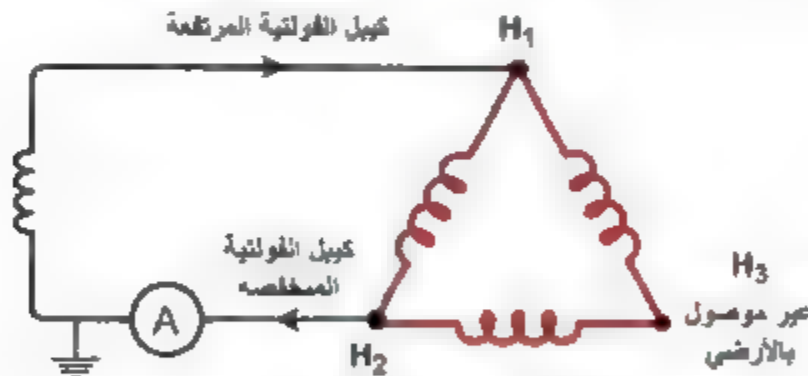
عند فحص محول توزيع (Distribution Transformer) ذو سعة (Capacity) تقل عن 3MVA من (3MVA) من محولات أمبير



الشكل رقم (6-17)

ويُتوقع أن يظهر هذا النمط من فراغات تيار التوزيع عند فحص محولات التوزيع كما ذكر سابقاً بالإضافة لحالات التالية

✓ محول ذو قلب حديدي ثلاثي الأعمدة (Core type) ملغاة موصولة على شكل مثلث (Delta) Δ ، ولحجب ما لم يتم توصيل الدوائر الثلاث مع الأرض عند إجراء الفحص كما هو مبين بالشكل (6-18)، (خطأ في توصيلة الفحص)



الشكل رقم (6-18)

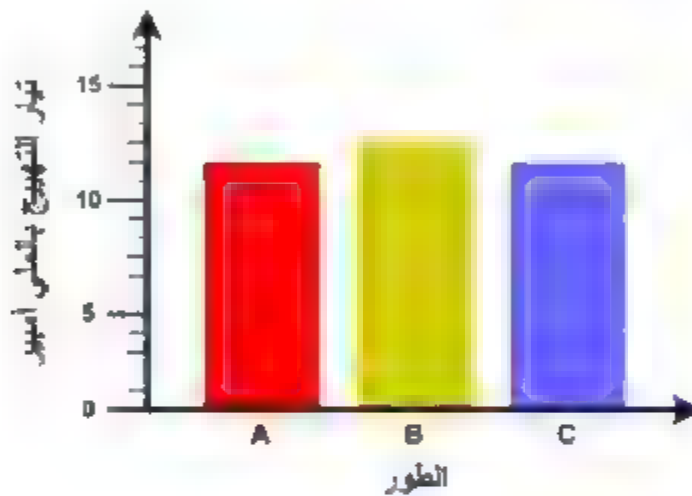
✓ محول ذو قلب حديدي ثلاثي الأعمدة (Core type) ملغاة موصولة على شكل نجمة (Star - γ) ذات نقطة معاد (Neutral point) لا يُمكن الوصول بها (غير مدهرة) حيث أنه في هذه الحالة لم تُعد الفحص أحادي طور (Single phase) بل أصبح ثنائي أطوار وذلك لأن أطراف لفحص في هذه الحالة (H1 - H2) و (H1 - H3) و (H2 - H3) مما يعني تطبيق لقوانين على طورين بنفس الوقت كما هو مبين بالشكل (6-11) كما تم شرحه في الفصل السابق

✓ محول ذو قلب حديدي رباعي الأعمدة كمحولات التلقائية (Autotransformers) المُصنعة بالولايات المتحدة الأمريكية

لذلك عند الحصول على هذا النمط عند فحص محول قدرة (Power transformer)، فإنه بالعبارة يدل على وجود عطل داخلي بالمحول، أما في حال فحص محول توزيع (Distribution transformer) فمن المُرجح الحصول على هكذا نمط وليس بالضرورة أن يكون ذلك على وجود عطل داخلي في المحول

• النمط الرابع: مرتفع - مرتفع - مرتفع (H-H-H)

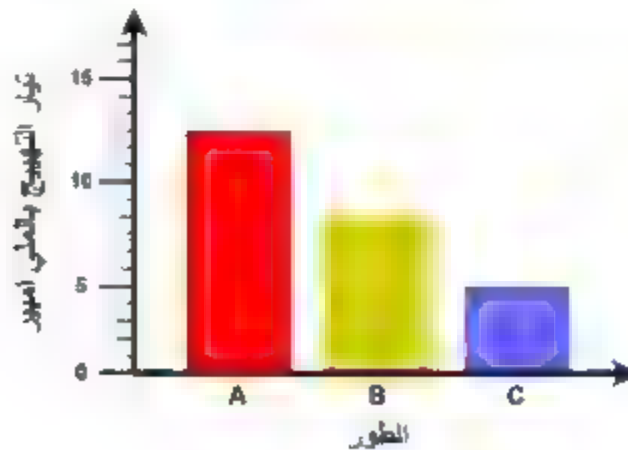
في هذه النمط تكون قراءات تيار التهييج متساوية لجميع الأطوار لذلك يُرمز لهذا النمط (H-H-H) كما هو مبين بالشكل (6-19)، ويُتوقع أن يظهر هذا النمط من قراءات تيار التهييج عند فحص المحولات ذات القلب الحديدي حثاسي الأنظمة (Shell type) ذو ملفين ثنائي موصولة بغير توصيلة المثلث (Delta) (- Δ)



الشكل رقم (6-19)

• النمط الخامس: مرتفع - متوسط - منخفض (H-M-L)

في هذه النمط تكون قراءات تيار التهييج غير متساوية لجميع الأطوار لذلك يُرمز لهذا النمط (H-M-L)، وأيضاً يُسمى هذا النوع من القراءات باللامنط وذلك لأنها لا تتبع نمط معين كما هو مبين بالشكل (6-20).



الشكل رقم (6-20)

ذلك وسند ظهور القراءات بهذا الشكل غير المتساوي بين لأطوار فيه دليل على واحدة من الأمور
لتأية

○ غالبية تيار التهييج ليست حثية.

يتكون تيار التهييج من ثلاث مركبات رئيسية وهي المركبة الحثية والمعدنية والسعوية، وعادة ما تُهيم
مركبة الحثية لتيار عن قيمة التيار الكلي وهذا هو الوضع الطبيعي ولكن في حال زيادة مركبة التيار
سعوية بحيث تُهيم عن قيمة التيار الكلية فإن هذا من شأنه التأثير على سطح الفحص و إعطاء تيم
تيار غير متساوية.

■ ويبقى التساؤل المطروح كيف يُمكن الكشف عن هذه الحالة؟ وكيفية التعامل معها؟

فيما يخص الشق الأول من السؤال فإن بعض أجهزة الفحص الحديثة لمصنعه بواسطة
شركه (OMICRON) تُعطي قيمة تيار التهييج بالإضافة لزاوية التوتر (Phase angle) لهذا تيار،
ومنها يُمكن معرفة فيما إذا كان التيار الحثي هو المسيطر بحيث تكون الزاوية سالبة، أما إذا كان
لتيار السعوي هو المسيطر فإن الزاوية ستكون موجبة.

أما فيما يخص شق الثاني من السؤال فإنه في حال الحصول على نتائج فحص تهييج غير متساوية
وعبر قيمة زاوية التوتر (Phase angle) ثبت أن المركبة السعوية من التيار هي المسيطرة، فيه يتم
لحوم تتبع عدد حساسات عديدة (Watt loss) والتي تعتمد في قيمتها على قيمة مركبة التيار المادية
(Resistive) وفي حال كانت قيمة حساسات تقارب صفر يمكن قبول الفحص وجعل قيمته مرجعية
لممرات القدمة، أما في حال فشل مقدرية حساسات القدرة يُصاحبه بحجب البحث كإحدى أسباب عدم
تساوي تيارات التهييج وفي هذا نقودنا إلى وجود أعطال في المحول.

○ مغناطيسية مُتبقية في القلب الحديدي

في حال وجود مغناطيسية مُتبقية في القلب الحديدي والتي قد تكون ناتجة عن إجراء بعض
المحوسبات ذات الموائمة الذاتية (DC voltage) مثل فحص مقاومة العزل (Insulation
Resistance) وفحص مقاومة ملفات (Winding resistance) فيه من المحتمل الحصول على
هذا النوع من القراءات غير المتساوية تيار التهييج، لذلك يُصبح بإجراء هذا الفحص قبل المحوسبات
سابقة الذكر وفي حال إجراء هذا الفحص بعدها يجب عمل إزالة لهذه المغناطيسية المُتبقية بالعرق
ورده في نهاية الفصل الثاني والثالث من هذا الكتاب ومن ثم إعادة هذا الفحص مرة أخرى

○ وجود عطل في المحول

وجود الأعطال من شأنه إعطاء قراءات تيار تهييج غير متساوية والتي تكون عادةً على شكل زيادة في
قيمة تيار التهييج على طول و حد أو أكثر، وفي هذه الحالة يجب متابعة نتيجة الفحص الحالية بفتح
سابقة لفحص المحول مع مرعاة ثبات قيمة قوائم الفحص للفحصين السابق والحالي حتى نتسنى لنا
إجراء مقدرية بين نتائج هذه المحوسبات بشكل صحيح كما ويُصبح بإجراء هذا الفحص على جميع
خطوات مُعير لخطوه ومقارنتها بين الخطوات ونتائج المحوسبات لساعه إن أمكن مع مرعاة ثبات
قوائم الفحص كما ذكر سابقاً، بالإضافة إلى أن اختلاف مستوى المغناطيسية المُتبقية في القلب

احديدي بين فحص السابق والحالي قد يؤدي لإختلاف في قيمة الفحص بشكل طفيف قد لا يؤثر على نتيجة الفحص بحيث يمكن إهماله

ملحوظة (6-2): فيما يخص المحولات أحادية الطور (Single Phase) فإنه يتم تحليل نتيجة هذا الفحص بمقارنتها بنتائج فحص سابقه لنفس المحول أو مقارنتها بنتائج فحص محول مشابه في مواصفاته وبيئته التشغيلية

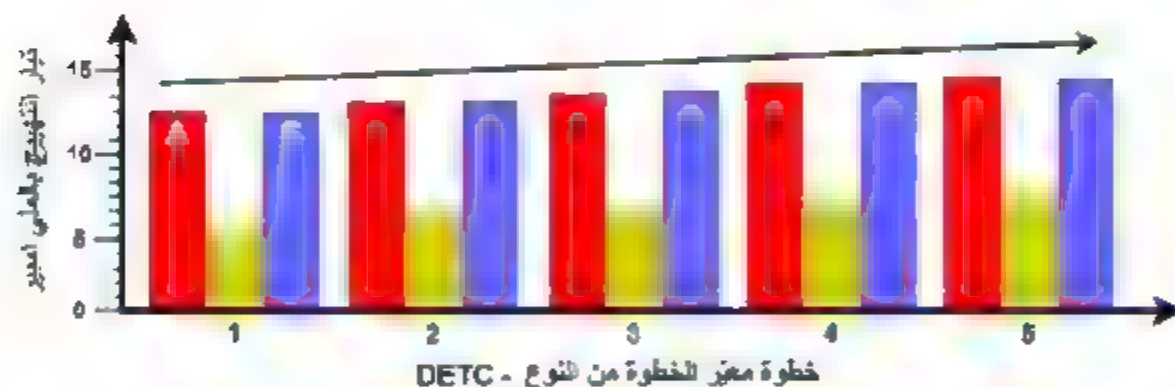


7.2 المقارنة بين نتائج الفحص عند خطوات مُغيّر الخطوة المختلفة مع ثبات فولتية الفحص وهنا ما يُسمى بنمط مُغيّر الخطوة (Tap Changer Pattern).

عند إجراء هذا فحص عند خطوات مُغيّر الخطوة المُختلفة يظهر مجموعة من أنماط القراءات لتبرير التهييج والتي من خلالها يتم تحليل نتائج هذا الفحص. ونُعد الأنماط التالية الأكثر شيوعاً

• النمط الأول: مُغيّر خطوة من النوع (De-Energized Tap Changer - DETC or OCTC)

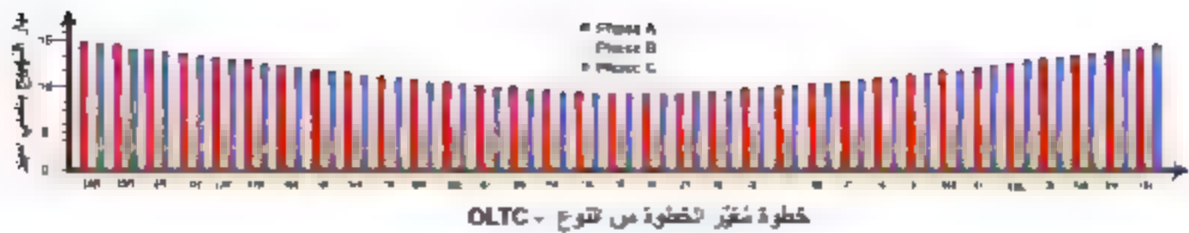
يظهر هذا النمط من القراءات عند فحص محول ذو مُغيّر خطوة من النوع (DETC أو OCTC)، حيث أن لبرءات تردد أو تناقص بشكل حتمي وهذا لتغيير وصعية مُغيّر الخطوة صعوداً أو نزولاً كما هو مبين، بالشكل (6-21) التالي



الشكل رقم (6-21)

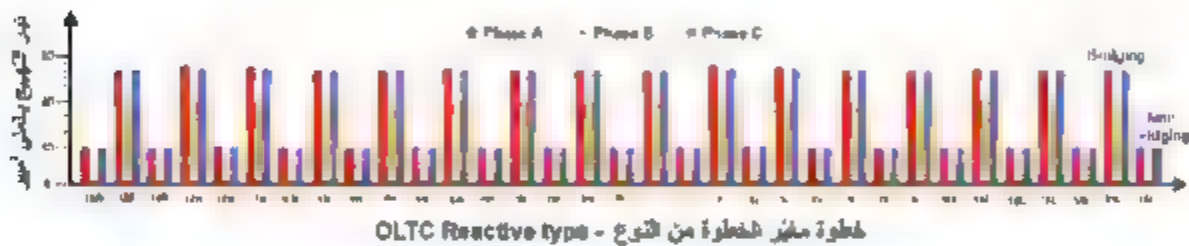
• النمط الثاني: مُغيّر خطوة من النوع (On-load Tap changer OLTC) يحتوي مقاومة (Resistive)

يظهر هذا النمط من القراءات عند فحص محول ذو مُغيّر خطوة من النوع (OLTC) يحتوي على مقاومة سديه (Resistive) تحدث من تيارات الدوّرة (Circulating current) التي تنتج من عصبية تغيير وصعية مُغيّر الخطوة (OLTC) كما يظهر بالشكل (6-22).



الشكل رقم (6-22)

• النمط الثاني: مُتغيّر خطوة من النوع (On-load Tap changer OLTC) يحتوي محثّة (Reactive) يظهر هذا النمط من القراءات عند فحص محوّل ذو مُغيّر خطوة من النوع (OLTC) يحتوي على محثّة (Reactive) أو ما يُسمى بالـ (Preventative Transformer - PA) أحد من التيار إلى دائرة (Circulating current) أي ستج من عملية تغيير وضعيه مُغيّر الخطوة (OLTC) وعند التبديل بين لخطوط يوحد وصعيان؛ الأخرى وتُسمى (Non-Bridging) والوصعية لنسبة تُسمى (Bridging) وهذا يُفسر ظهور هذا النمط من القراءات المُبين في الشكل (6-23)



الشكل رقم (6-23)

8. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

هناك عدة عوامل مؤثرة على نتيجة هذا الفحص والتي لا تُد من إحصاءة بها من أحد، تحديد تأثيرها أو التخفيف منه على الأقل، ومن هذه العوامل.

8.1 التمغنط الزائد للقلب الحديدي – Core Excessive Magnetizing

في التمغنط الزائد لقلب الحديد، أو كما تُسمى بالمغناطيسية المُسقية لقلب الحديد من شأنه التأثير على قيمة هذا الفحص، لذلك عند ظهور نتائج نهج يتم محصلة عن بعضها البعض من الأدوار ونسبه تدرج عنه يجب التأكد من عدم وجود مغنطة زائدة لقلب الحديد في قبل إجراء الفحص إلى وجود فصل في المحوّل.

وقد تكون هذه المغناطيسية المُسقية ناتجة عن إجراء بعض الفحوصات ذات القومية الثابتة (DC voltage) مثل فحص مقاومة العزل (Insulation Resistance) وفحص مقاومته لفصلات (Winding resistance) أحد أسباب الفحص على قراءات غير متساوية لتيار التهييج، لذلك يُصبح إجراء هذا الفحص قبل الفحوصات سابقة الذكر وفي حال إجراء هذا الفحص بعدها يجب فحص يراه لهذه

المعدنطيسية لمُتنقيه و صرق الواردة في نهاية الفصل الثاني و الثالث من هذا الكتاب ومن ثم عادة هذا الفحص مرة أخرى

ملحوظة (3-6). لا يُمكن جعل قيمة معطه القلب الحديدي المحوّل مسوية للصفر. لذلك فإن معطه القلب الحديدي بدرجات قليلة لا تؤثر على قيمة هذا الفحص ولكن كانت المغنطة بدرجات زائدة فإنها سوف تؤثر بالتاكيد



ملحوظة (4-6). لسوء الحظ من الصعب قياس قيمة المعدنطيسية لمُتنقيه في القلب الحديدي المحوّل، لذلك بعد الحصول على قيم يارات التهييج غير متساوية وكان هناك شك من وجود معدنطيسية متبقية، فإن لطريقة الوحيد المتأكد من ذلك هو بعمل إزالة للمعدنطيسية المُتبقيّة (De-magnetization) ومن ثم إعادة الفحص مع ضرورة بقونه إلى أن بعض المحوّلات محدّج لعمل إزالة مغناطيسية متبقية (De-magnetization) أكثر من مرة للوصول إلى قيمة مغنطة متبقية للقلب الحديدي



8.2 تصحيح قيمة الفحص للفولتية المناسبة

من قيمة تيار التهييج المُعتمدة تعتمد على قيمة فولتية الفحص والكمية لا تربط بشكل خطي مع مقدار هذه الفولتية، لذلك يصعب تصحيحها حسبياً باستخدام الإستيفاء الخطي مثلاً (Linear interpolation) وذلك لأن المركبة المسيطرة على قيمة تيار التهييج هي مركبة حثية وكما هو معلوم أن اعتبار الحثي لا يربط خطياً قيمه الفولتية على المقص من التيار الشعوي ذو الترددات الخطي بفولتية الفحص، وهذه بدوره يربط صعوبه مقارنة القيمة المُقاسه عند تطبيق فولتية فحص (2.5kV) كيلوفولت مع قيمة سابقة تم قياسها تطبيق فولتية فحص مقدارها (10kV) كيلوفولت لذلك والتجرب، خصوص في حديثات التصحيح يُصبح بعمل هذا الفحص عند نفس الفولتية التي تم عمل الفحص السابق عندها وعادة ما تكون (2.5 kV) أو (10kV) كيلو فولت، كما ويستخدم بعض أجهزة الفحص الحديثة التصحيح الإلكتروني قيمة تيار التهييج لفولتية المرجعية (2.5KV) أو (10KV) كيلوفولت

8.3 سيطرة مركبة التيار السعوية على تيار التهييج

يتكون تيار التهييج من ثلاث مركبات رئيسية وهي لشركه لحثية (Inductive) والمركبة امانده (Resistive) والمركبة السعوية (Capacitive). وعادة ما تُهيمن المركبة الحثية لتيار على قيمة لتيار الكلي وهذا هو الوضع الطبيعي ولكن في حال يزداد مركبة التيار السعوية بحيث تهيمن على قيمة التيار الكلية فإن هذا من شأنه التأثير على نتائج الفحص وإعطاء قيم تيار غير متساوية

مركبة لتيار شعوي تُعبر عن تيار التيار المساء المحال المعدنطيسي في المانده عازلة للمحوّل وعدده ما تكون قيمتها مهمة مقدرة حركة التيار الحثية والماندية المانحة عن معطه وصناعات القلب الحديدي، ومع تقدم لعلم وصناعات وظهور المواد المُكوّنه للقلب الحديدي ذات الصياغات المتحجّصه كمادة (Amorphous)، وهنا بدوره أدى لتسليط من قيمة مُركبه تيار التهييج الحثية ومانده وساهم في جعل مُركبة تيار السعوية ذات قيمة لا يُمكن إهمالها مقارنة بالمُركبتين الساهمتين لتيار التهييج وساهم على ما

سبق ونتيجة هيمنة المركبة المعنوية للتيار على تيار التهييج فإن الطرق التقليدية لتحليل نتائج هذا الفحص قد لا تكون مُحَدِّدة، لذلك يتم لنحو اتساع نمط خسائر لسترة (Watt loss) عوضاً عن تتبع نمط تيار التهييج، حيث أن هذا الحسَّاس يعتمد قيمتها على قيمة مُركِّبة التيار المديّة (Resistive) وفي حال كانت قيمة خسائر القدرة جيّدة يُمكن فنوال الفحص وجعل قيمته مرجعيّة لمرات لقادسه أما في حال فشل مقارنة حسَّاس القدرة أيضاً، فإنه يجب البحث أكثر في أسباب عدم تساوي تيارات التهييج والتي قد تقودنا إلى وجود أعطال في المحول

8.4 أخطاء في تطبيق خطوات الفحص

من الأخطاء في تطبيق خطوات الفحص مثال عدم تاريص الطرف الثالث عند فحص محول ثلاثي الأحمد (Core type) ملدته موصوله على شكل مثلث (Delta - Δ) كما هو مبين في الشكل (18-6) سيؤدي إلى التأثير على نتائج الفحص وتعرُّز نمط التيارات الظاهرة كما ذكر أعلاه

9. فحوصات إضافية دأمة


تُعتبر المحولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية لما لها من دور في ديمومة سريان التيار الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة الكهربائيّة جميعها بالإضافة إلى تكلفتها المادية المرتفعة، لذلك لا يُمكن الإعتماد على فشل فحص واحد لتقييم حالة المحول ولبدء بعمل الإجراء التصحيحيّ لهذا المحول، بل يجب فحص فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع المظهر بالضبط ثم بعد ذلك يُصدر العمل لإجراء التصحيحيّ اللازم لهذا المحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنِّع هذا المحول.

وبعد إجراء فحص تيار التهييج وكافة نتائج الفحص عبر مُرتبة بعد تحليلها وفقاً للأبعاد المأمة، فإنه يجب إعادة الفحص بعد التأكد من جميع خطوات الفحص ومراعاة تجنُّب الأمور التي تؤثر على نتيجة هذا الفحص، وفي حال الحصول على نتيجة أخرى غير مُرضية لا بُدّ من وضع المحول الخدمة فبسّ عمس تفقد دأحس بالإضافة إلى عمس لإجراء التصحيحيّ اللازم ولكن لا بُدّ من إجراء بعض الفحوصات الأخرى للتأكد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحيّة ومنها كالآتي

- فحص نسبة عدد مرات المحول (TTR) وذلك للكشف عن مشكلته (Turn to turn SC)
- فحص تحمّل الإسخدة الترددية المسحي (SFRA) وذلك للكشف عن الحالة المبرأنة بنفس الحداي للمحول
- فحص مقاومة مبدل المحول (WRM) وذلك للكشف عن وجود قطع (Open circuit) في موصلات الملفات الخاصة بالمحول.
- فحص مُشاعده السرب (Leakage reactance) للكشف عن تشوُّد المفاصل بين وحد
- فحص المساومة الميكانيكي (Dynamic WRM) للكشف عن أعطال مُعرّ خصوه (OLTC)
- فحص العزل المأمة في ريت (DGA) خصاً للكشف عن وجود أعطال في مُعرّ الخطوة (OLTC)

10. أمثلة على نتائج فحوصات قصصية

10.1 المثال الأول: الشكل (24-6) يُبين فيه فحص تيار التحريض (Excitation current) مقصبي (FAT) لمحور ثلاثي الأضواء ثنائي الملفات (Three Phase Two Winding) موصول بطريقه (Dyn11) ذو مُعَيَّر خطوة من نوع (OLTC)



AREVA

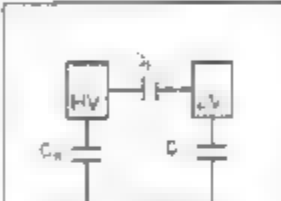
Acceptance
Test Certificate

Customer Ref.	A.C.		Page No.
	ISOLATION TESTS AND EXCITING CURRENTS		Serial No.
	Standard	Report No.	
Rated Power (MVA)	24 / 30	Rated voltage (kV)	15 / 18
Object temperature	28 °C	Relay connection	480 V
Material	Steel Plate	Test frequency	50 Hz

EXCITING CURRENT MEASUREMENT

Tap Pos	Measurement	Excited	Unexcited	Excited	1st voltage (V)	Reading	Reading	Multiplier	mA
1	High	H	X0	H3 V	3	45.0	45.0	3	450
	Med	M	X0	M1 V	2	57.0	57.0	3	570
	Low	L	X0	L2 V	3	55.4	55.4	3	554

Measuring device: M2™ D3PLE Series



المسألة رقم (6-24)

10.2 المثال الثاني: الشكل (25-6) يُبين قيم فحص تيار التهيج (Excitation current) مسنمي (FAT) لمحول ثلاثي الأضوار ثلاثي الملفات (Three Phase Tertiary Winding) موسومول بطريقة (YNd11-d11) ذو مُغفّر خطوة من نوع (OLTC)

Measurement of the no load loss and current

For the purpose of this experiment, the following data were recorded:

At no load, the following data were recorded:

At full load, the following data were recorded:

At half load, the following data were recorded:

At quarter load, the following data were recorded:

Load (%)	Input Power (W)	Output Power (W)	Efficiency (%)
0	100	0	0
25	150	100	66.67
50	200	150	75.00
75	250	200	80.00
100	300	250	83.33

From the above data, it is observed that the efficiency of the motor increases with the load.

الشك، رقم (6-25)

الملحق (1-6)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص ونوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، ونجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جيداً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص تيار التهييج باستخدام جهاز DELTA2000 10kV by MEGGER



الشكل رقم (1-1-6)

- مواصفات الجهاز: حسب (DELTA2000 manual).
- فولتية المدخل الاسمية : 230 V, 50 Hz
- نطاق فولتية المخرج : 0 إلى 12kV

• نطاق القياسات

حسب الجدول التالي.

الجدول رقم (1-1-6)

القيمة المقاسة	النطاق (Range)	درجة الوضوح (Resolution)	الدقة (Accuracy)
الفولتية	250 V – 12 kV	10 V	$\pm(1\% \text{ of reading} + 1 \text{ digit})$
التيار	0 – 5 A	1 μ A	$\pm(1\% \text{ of reading} + 1 \text{ digit})$
الموسعة	1 pF – 1.1 μ F	0.01 pF	$\pm(0.5\% \text{ of reading} + 2 \text{ pF})$ UST $\pm(0.5\% \text{ of reading} + 6 \text{ pF})$ GST
معامل تدفئة	0 – 200%	0.01%	$\pm(2\% \text{ of reading} + 0.05\% \text{ DF})$
معامل تبريد	0 – 90%	0.01%	$\pm(2\% \text{ of reading} + 0.05\% \text{ PF})$
حساب القدرة	0 – 2 kW	0.1 mW	$\pm(2\% \text{ of reading} + 1 \text{ mW})$

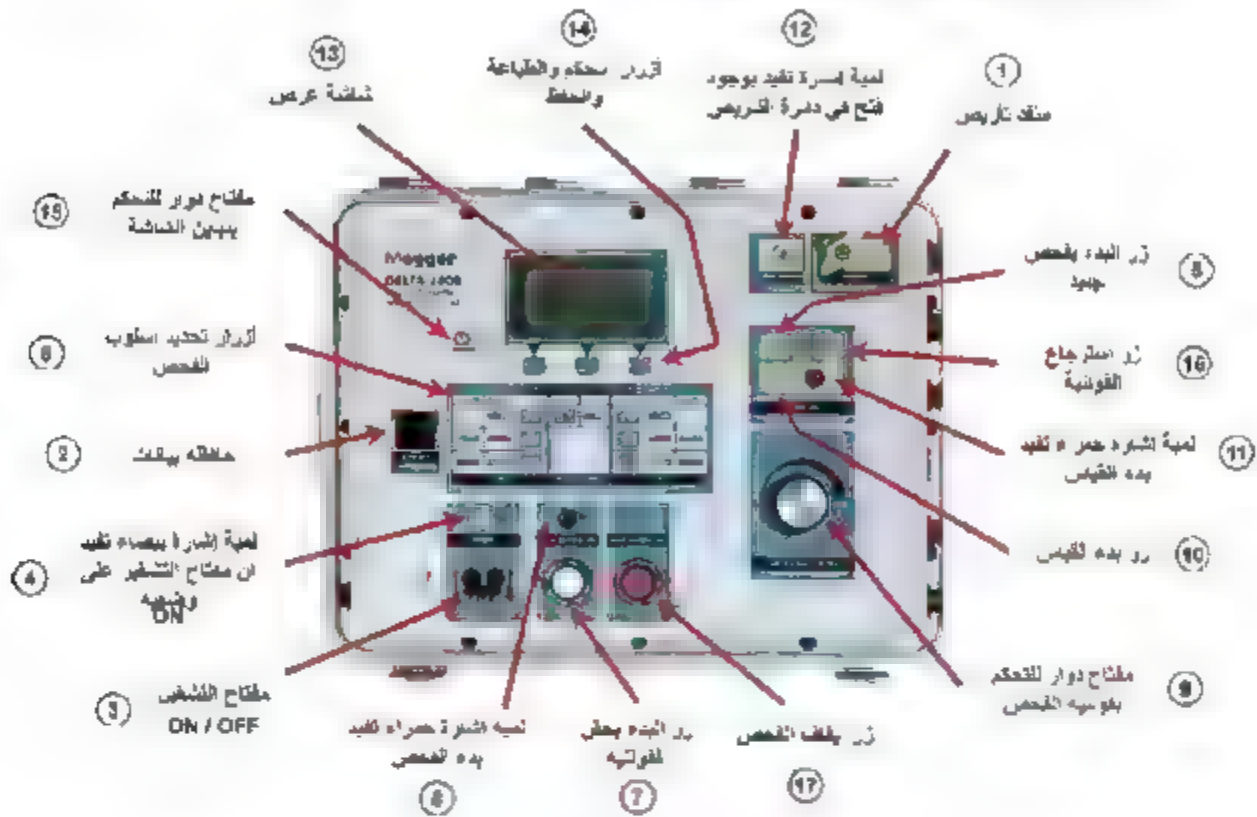
- بيئة تشغيلية المحيطة 32° F to 122° F (0° C to 50° C) RH to 90%, Non condensing
- بيئة تخزينية المحيطة -58° F to 140° F (-50° C to 50° C) RH to 95%, Non condensing
- أبعاد وحدة التحكم : 381 x 559 x 406 mm
- أبعاد وحدة الفولتية المرتفعة : 381 x 559 x 406 mm
- وزن وحدة التحكم : 74 lb. (33 kg)
- وزن وحدة الفولتية المرتفعة : 63 lb. (29 kg)

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

- 1 لتأكد من تطبيق الخطوات (5.1 إلى 5.9) الواردة في فقرة خطوات الفحص من فحص فحص سير التهيئ
- 2 لتأكد من أن الدارة الفردية فحصها غير مكهربة وعدم وجود احتمالية كهربائها أثناء الفحص
- 3 بحسب لمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعدد، إلا بعد لتأكد من عدم وجود فوئية وأن الملفات تم تفريغها تماماً من الشحنات المخزنة
- 4 لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك المشابك الخاصة بها (Clamps) في حالة جيدة وغير ممتلئة ولا تعاني من أية ضرر فيزيائية كاشقوق أو لكسور
- 5 لتأكد من أن جهاز الفحص الفردية مستخدمة معاير (Calibrated)، مع مراعاة عدم استخدام الجهاز في الأجواء القاسية للإضرار وكذلك الأجواء الماصرة وفي حال تساقط الثلوج أيضاً

6 قبل البدء بالتحقق من تغطية التعرف على أجزاء جهاز التحكم من شاشة ومصدر وأزرار ومفاتيح التحكم ولصقات إشارته كالآتي:

الشكل (6-1-2) يبين الأجزاء الرئيسية لواجهة وحدة التحكم.



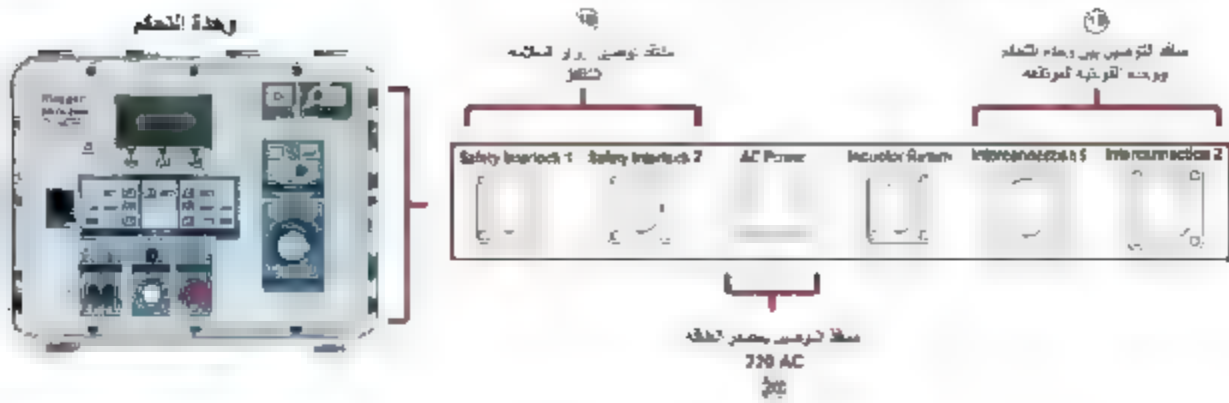
الشكل رقم (6-1-2)

الشكل (6-1-3) يبين أزرار تحديد أسلوب التحكم الموحدة على وحدة التحكم



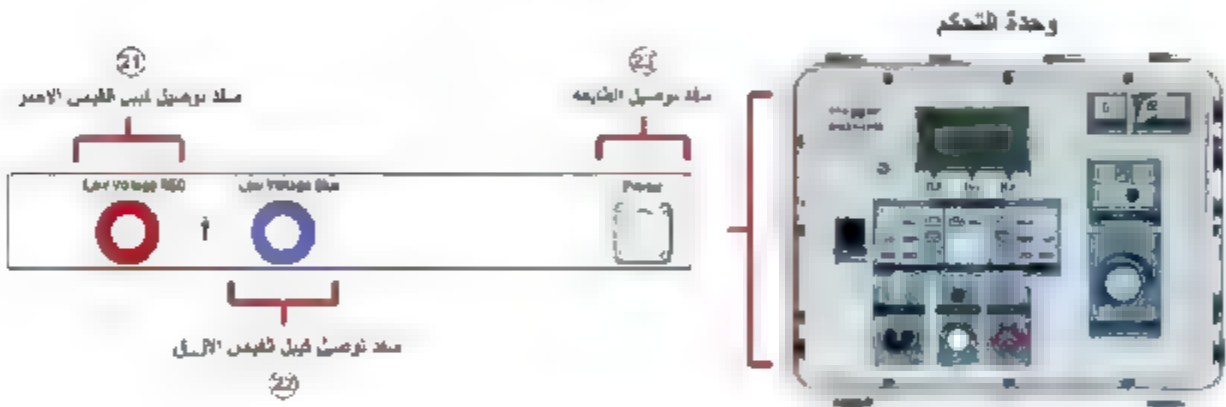
الشكل رقم (6-1-3)

الشكل (6-1-4) يُبين المنافذ الموجودة على يمين وحدة التحكم.



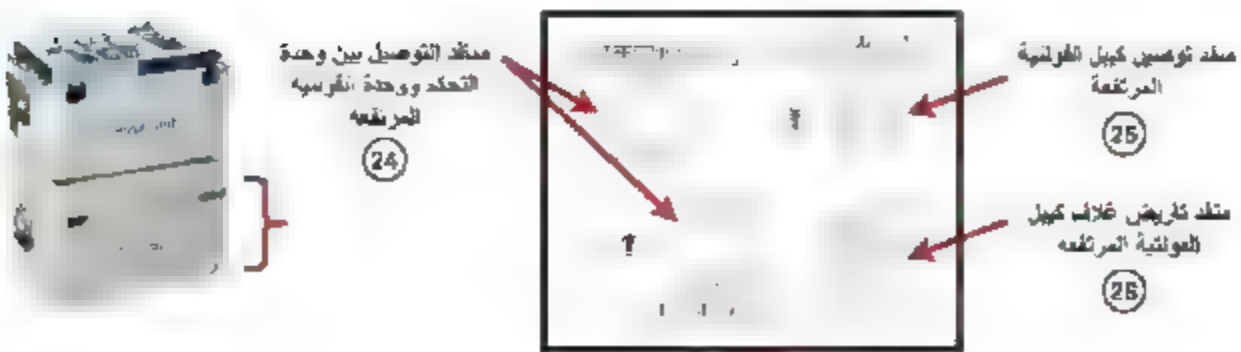
الشكل رقم (6-1-4)

الشكل (6-1-5) يُبين المدخل الموجود على يسار وحدة التحكم.



الشكل رقم (6-1-5)

الشكل (6-1-6) يُبين المنافذ الموجودة على يمين وحدة الحوالية المرتفعة.



الشكل رقم (6-1-6)

- 7 تهيئة منطقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية:
 - 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشتعال في منطقة الفحص.
 - 7.3 التأكد من التهوية الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مغلقة.
 - 7.4 مراعاة أن يكون سطح الفحص مستوي قدر الإمكان.
 - 7.5 التأكد من سلامة نظام الأرض في منطقة الفحص.
 - 7.6 وضع حواجز حول منطقة الفحص وشوخص بعيد بوجود فحص ذو فوئيه خطرة.
- 8 حصر جهاز الفحص (DELTA2000) إلى الموقع مع مراعاة وضع الجهاز على مسافة لا تقل عن (1.8 m) عن المحوّل بخص وعدم تعريضه لاشعة الشمس مباشرة لوقت طويل، حيث أن الحرارة التشعسية المحرر بحب الأرض عن (50°) درجة مئوية، وكذا مراعاة حفاظ أجراء الجهاز جميعه قبل تشغيله
- 9 لتأكد من أن مفتاح الشعين الخاص بجهاز الفحص رقم (3) في الشكل (6-1-2) على وصعية (OFF 0 -) الموصحة على المفتاح.
- 10 وصل وحدة التحكم بالأرض (Local station earth) عبر سبيل لأرض رقم (1) في الشكل (6-1-2) بواسطة الكبل المورّد مع الجهاز من قبل الشركة المصنعة (4.5m) متر، مع مراعاة أن يكون كبل الأرض من قبل كبل يتم وصله في المحوّل وجو كبل يتم إزالته عن الجهاز بعد الفحص
- 11 لتأكد من أن حوّل المحوّل موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار بأرض ذو معاوقة قليلة (Low Impedance)، مع مراعاة أن أرض جهاز الفحص وحوّل المحوّل من نفس نقطة الأرض
- 12 توصيل كوابل الفحص ومنحفات جهاز الفحص عبر المنافذ الخاصة بها كالآتي مع مراعاة لتأكد من أنها محكمة التركيب على جهاز الفحص ونها مقفلة (Locked).
- 12.1 توصيل كابل (2 cables x 1.52m) على المنافذ رقم (19) المبين في شكل (6-1-4)، بمين وحدة التحكم والمنافذ رقم (24) نفس وحدة القومية المرتفعة المبينة بالشكل (6-1-6) بعداً لتتسوية على الجهاز (Interconnection 1 & 2)، وذلك للربط بين وحدة التحكم ووحدة لفولتية المرتفعة.
- 12.2 توصيل كابل القومية المنخفضة الأحمر (كابل القياس) على المنفذ رقم (21) على وحدة التحكم المبين في الشكل (6-1-5) على مسار وحدة التحكم
- 12.3 توصيل كابل القومية المنخفضة للأرض (كابل القياس) في حال زودنا باستخدامه على منفذ رقم (22) المبين في الشكل (6-1-5) على مسار وحدة التحكم
- 12.4 توصيل أسلاك أرض لسلامة أو كما تسمى نظام القفل (Interlock) على المنافذ رقم (18) المبين بالشكل (6-1-4) بمين وحدة التحكم.
- 12.5 توصيل الحابطة بجهاز الفحص عبر المنفذ رقم (23) المبين في الشكل (6-1-5) مسار وحدة التحكم، مع مراعاة وصعية مفتاح التبديل الثاني كما هو موضح بالشكل (6-1-7)



الشكل رقم (6-1-7)

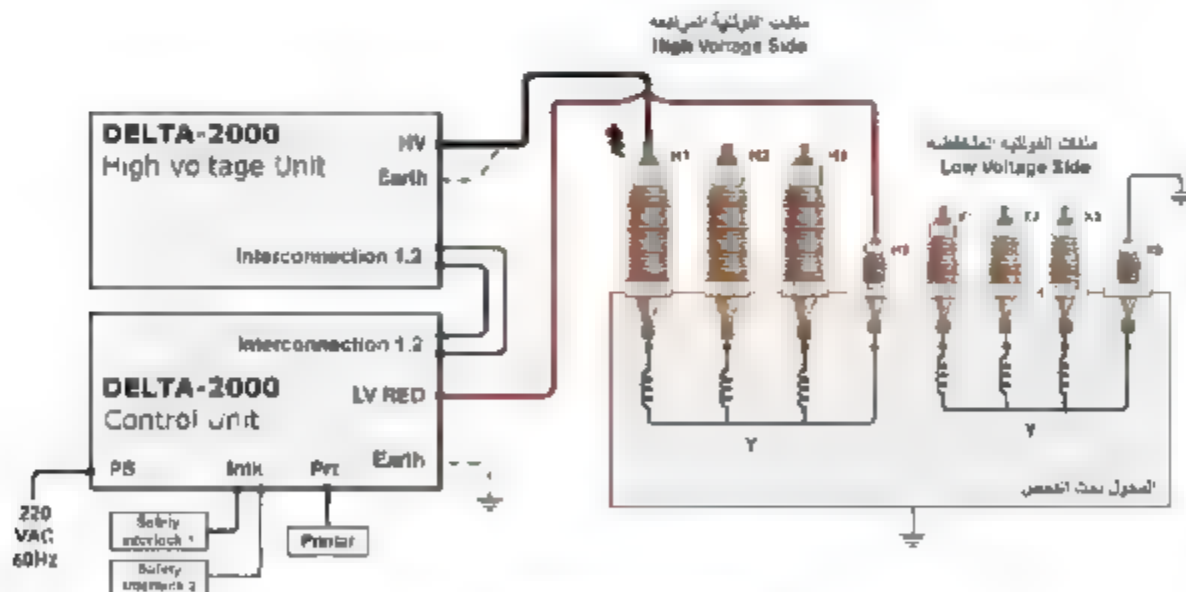
12.6 توصيل كابل هوائية مرتفعة (الأسود) بالمفرد رقم (25) المبين في الشكل (6-1-6) بمساحة وحدة هوائية المرتفعة، مع ملاحظة توصيل العلاف الخارجي لهذا كبس (Sheath) مع الأرض عبر اسعد رقم (26) المبين في الشكل (6-1-6) بمساحة وحدة الهوائية المرتفعة.

13 لتأكد من أن كبس الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقة قليلة (Low Impedance)

14 توصيل جهاز فحص بمصدر الطاقة الكهربائي عبر المفرد رقم (20) في الشكل (6-1-4) بحيث يتم وصل كابل الطاقة بجهاز الفحص أولاً ومن ثم بالمصدر الكهربائي.

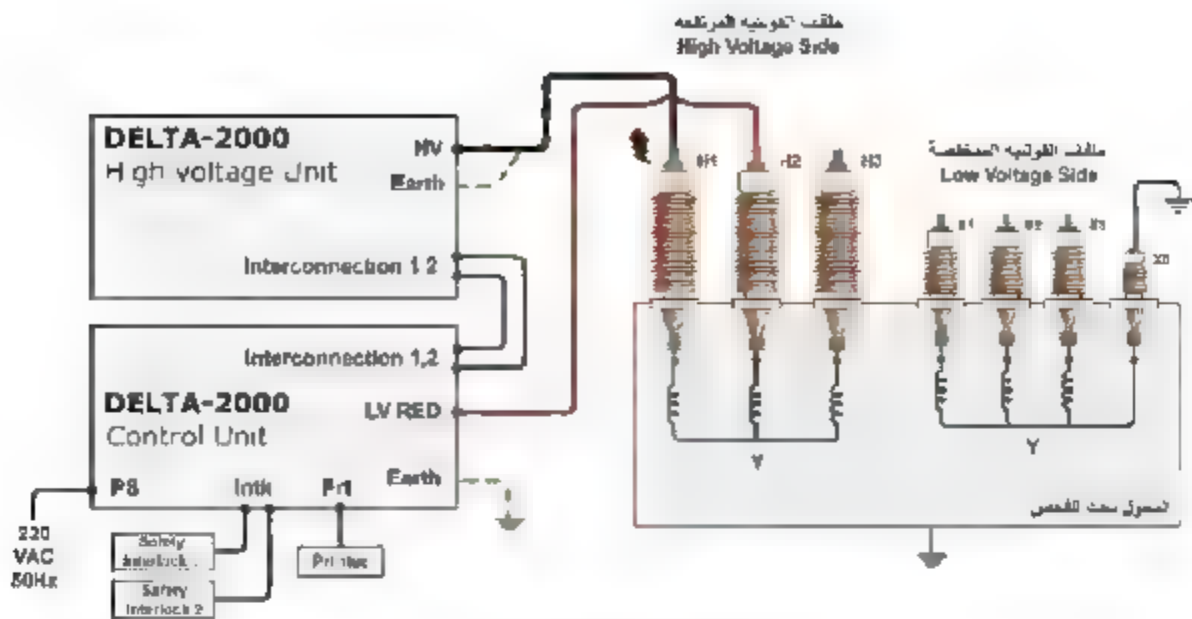
15 توصيل أسلاك الجهاز بالمحول على النحو التالي:

15.1 لفحص محو، ثلاثي الأعموار ثنائي الملفات (Three phase two winding) ذو سمعت فولية مرتفعة موصولة على شكل نجمة (Star - Y) بقطعه يعادل تمكن الوصول به (صاهرة).



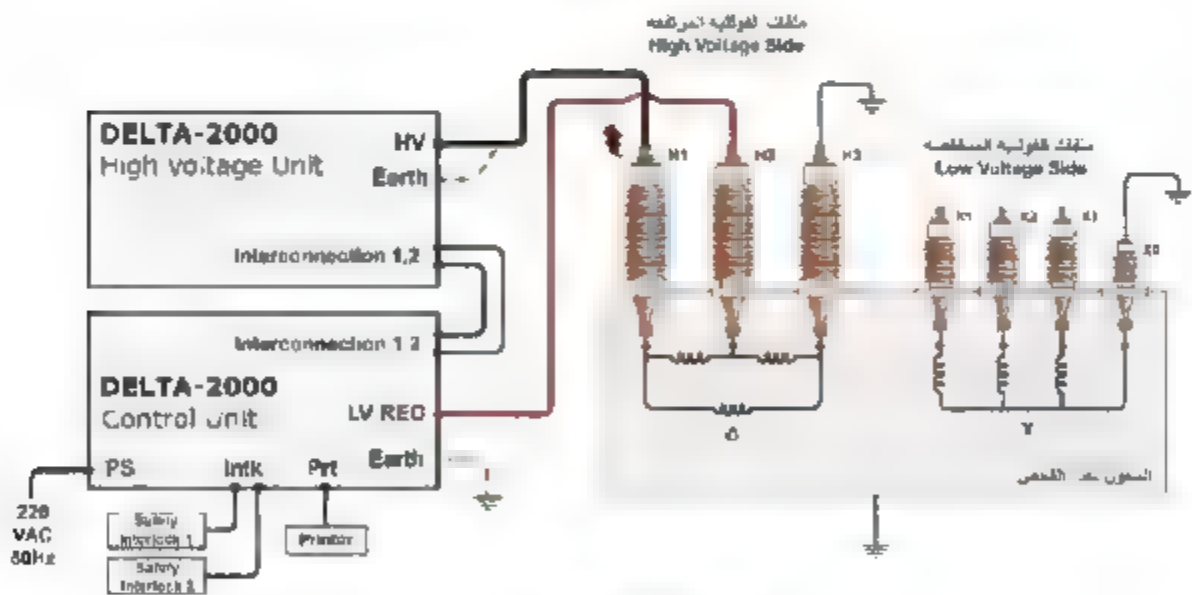
الشكل رقم (6-1-8)

15.2 فحص محو ثلاثي لأعموار ثنائي الملفات (Three phase two winding) ذو سمعت فولية مرتفعة موصولة على شكل نجمة (Star - Y) بقطعة يعادل تمكن الوصول به (غير ظاهرة)



الشكل رقم (6-1-9)

15.3 اعحص محوّل ثلاثي الأطوار ثنائي الحلف (Three phase two winding) ذو منفذ فوسية مرتفعة موصولة على شكل مثلث (Delta = Δ)



الشكل رقم (6-1-10)

15.4 فيما يخص محوّل ثلاثي لأطوار ثلاثية الملعب (Three phase tertiary winding) وربها بمعدسها كالمحوّل ثنائية الملعب بحيث يتم فتح أطراف منفذ الفوسية الموصلة لأولى وإنشائه مع الإنشاء على أربعين نقطة لتعادل (Neutral point) إلى وحدت.

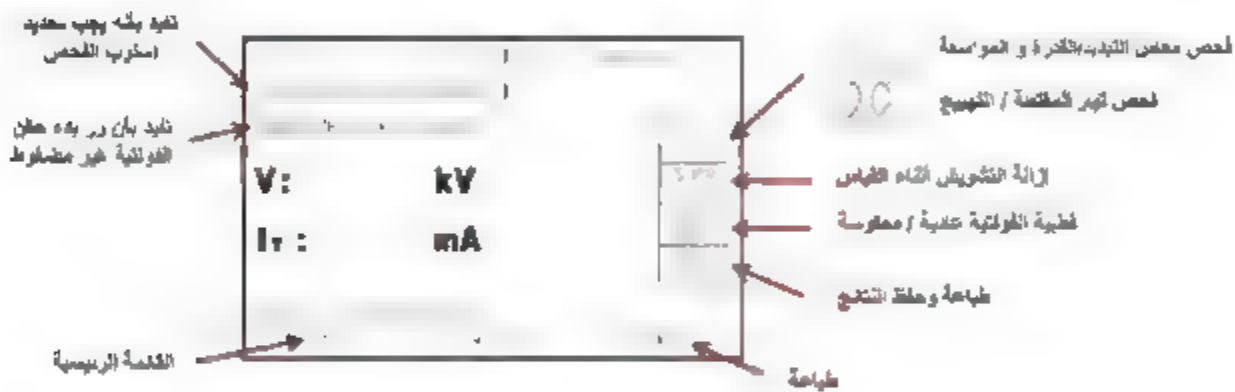
16 بعد عمل توصيلة المحص المناسبة بقود بتشغيل جهاز المحص عن طريق تعيد وصلة (رفع) مفتاح تشغيل رقم (3) الغير في الشكل (6-1-2) وملاحظه إنارة لمبة الإشارة ببيضاء اللون رقم (4)

لعنبيه في ذات الشكل. ليطهر ما شاشة الإفتاحيه وسد الإختبار تشخيصي له في لجهار كم هو
مُبين بالشكل (6-1-11)



الشكل رقم (6-1-11)

17. بعد نجاح الإختبار التشخيصي الذاتي للجهاز وعدم إحداده خطأ رسوم الجهار بالإنقش لشاشة
لفحص الرئيسية والتي من خلالها يُمكن معرفة المعلومات الفنية بالشكل (6-1-12)



الشكل رقم (6-1-12)

يُمكن دمج تباين لشاشته (Contrast) بواسطة المفتاح الدور رقم (15) حين في الشكل (6-1-2)

18. من شاشة الفحص السابقة يُمكن ملاحظه المربعات على يمين الشاشة والتي تشير لعص إعدادات
لجهاز بشكل محصر فيما إذا كانت مناسبة أو لا، وفي حال أردنا ضبط إعدادات لجهاز والفحص
نقوم بختيار القائمة الرئيسية (MENU) لعينة في الشكل (6-1-12) وذلك بالصحة على زر أسفلها،
ننتقل للشاشة عنبيه في الشكل (6-1-13) والتي من خلالها يُمكن ضبط إعدادات الفحص والجهاز
كالاتي باستخدام الأزرار الثلاثة أسفل شاشة العرض.

18.1 تحديد نوع القياسات (Measurement) قيم إذا كان فحص العازل (AC Insulation test)
وهو الفحص الذي تم شرحه في الفصل السابق، أو فحص تهر المعصنة / التهييج
(XFMR Excitation current test) وهو ما نبحث فيه.

18.2 تحديد قيمة فونية التصحيح (Correction) بإختيار (10kV) أو (25kV) كيلوفولت أو لا،
التصحيح (None).

18.3 تشغيل أو إيقاف إضاءة التشويش (Interference Suppressor) وذلك اختيار تشغيل (ON) إيقاف (OFF) كابل مضطربة فحص عريضة التشويش كمحس المحولات في محطات التحويل الكهربائية (Energized) مرتفعة الفولتية

18.4 تحديد قطبية قوسية فحص الخشقة (HV Polarity) فيما إذا كانت عادية (Normal) أو عادية ومعاكسة (Normal/Reverse) وذلك لتحصل من تأثير تيار التشويش الكهربوسديكيه نتيجة عادة من محطات التحويل المجاورة ذات الفولتية المنخفضة

بالإضافة إلى مجموعة من الإعدادات الأخرى الخاصة بضاعه وحفظ الدتخ وصبط الوقت ومعايرة الجهاز وغيرها من الإعدادات

EXIT TO TEST	11/26/96	10:27
MEASUREMENT	AC INSULATION TEST (or) XFMR EXCITATION TEST	
CORRECTION	NONE or 10 kV or 25 kV	
LOSS DISPLAY POWER FACTOR or DISSIPATION FACTOR		
INTERFERENCE SUPPRESSOR	ON or OFF	
HV POLARITY	NORMAL REVERSE or NORMAL ONLY	
NEXT MENU		
ENTER, OR CHANGE	UP	DOWN

الشكل رقم (6-1-13)

19. بعد الإنتهاء من ضبط إعدادات الفحص والجهاز يقوم بحسب (EXIT TO TEST) من الشكل (6-1-13) وذلك ليرجع لشاشة الفحص الرئيسية المدمجة في الشكل (6-1-12) ومن ثم يقوم بالضغط على زر فحص جديد (New test) رقم (5) المميز في شكل (6-1-2)

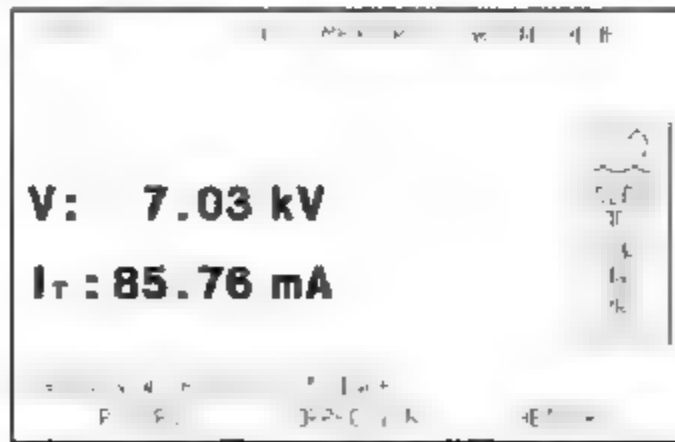
20. اختيار أسلوب فحص العينة غير المؤرصة (UST) بالضغط على زر رقم (2) المميز في شكل (6-1-2) (3)

21. لضعط على أزرار السلامة أو كما تسمى نظام القفل (Safety Interlock Push Buttons) معاً وبقبهما هذه الحالة حتى ينها الفحص كما هو مبين بالشكل (6-1-14)، وتصبح بأن يكون واحد من هذه الأزرار مع شمع الجهاز والزر الذي مع شخص حر زيادة السلامة في حالات لطائه حيث أنه في حالات الصوري أثناء الفحص يوقف الضغط على هذا الأزرار لإيقاف فحص العينة أو يقوم بضغط على زر إيقاف الفحص الأحمر (17) المميز في الشكل (6-1-2)



الشكل رقم (6-1-14)

22. تصفير لمفتاح العدّاد (9) المبيّن في الشكل (6-1-2) في جعله على وضعه (ZERO START)
23. لصعصع على زر البدء بحسن مواءمة الأبيض (7) المبيّن في الشكل (6-1-2) وملاحظة إنارة لمبة الإشارة الحمراء (8) المبيّنة في الشكل (6-1-2) والتي تعيد بدء حقن المولتية
24. لبدء بتحريك مفتاح الدوّار (9) لرفع المولتية وتثبيت عند المولتية المقرّدة فحص الفعّلة عندها وفي حالة هذه سيجتاز (7kV) كما هو مذكور ، (يمكن الإحصاء على دفعة واحدة المولتية المقصودة في خطوات وأساليب الفحص (5) من هذا الفصل)
25. نقوم بصعصع على زر القياس (MEASURE) رقم (10) المبيّن في الشكل (6-1-2) وملاحظة إنارة لمبة الإشارة الحمراء (11) المبيّنة في الشكل (6-1-2) والتي تعيد بدء القياس حيث تنطلق هذه اللمبة عند انتهاء القياس ولكنها لا تعني عدم وجود فولتية.
26. بعد الانتهاء من القياس انظر شاشة الفحص على شاشة المبيّنة في الشكل (6-1-15) حيث يمكن لأن يندف الصعصع على زرر السلامة (Interlock pushbuttons 1&2)



الشكل رقم (6-1-15)

27 تُمكن دلسعة السبجة حر الصعظ على الرر أسفل كلمه (Header) الصهرة على شاشة اعرص
لصناعة النتبجة وحفظها كما هو مبين بالشكل (6-1-16)

DATE: 11/22/96 10:28
TEST ID NO.: XFMR - 123 - SS 3
TEMPERATURE (°C): 27.6
TEST MODE UST MEAS RED, GND BLUE
MEASUREMENT, XFMR EXCITATION TEST
VOLTAGE: 7.03 kV
CURRENT: 85.76 mA
122 mA @ 10 kV

الشكل رقم (6-1-16)

28 بعد ذلك بمكن الصعظ على زر ببقاف المخص الاحمر (17) لمبين في شكل (6-1-2) وكذاك تعبير
وصعية المفتح الدوار (9) إلى اصغر في حال أردنا إنهاء المخص، ولكن إذا أردنا إجراء فحص آخر
تُمكن بصعظ على زر فحص جديد (5) المبين في شكل (6-1-2) و عادة الخطوات من الخطوة
(19) إلى آخر الخطوات

الفصل السابع

فحص مُفاعلة التسرُّب

Leakage Reactance Test



فحص مُفاعلة التسرب

Leakage Reactance Test

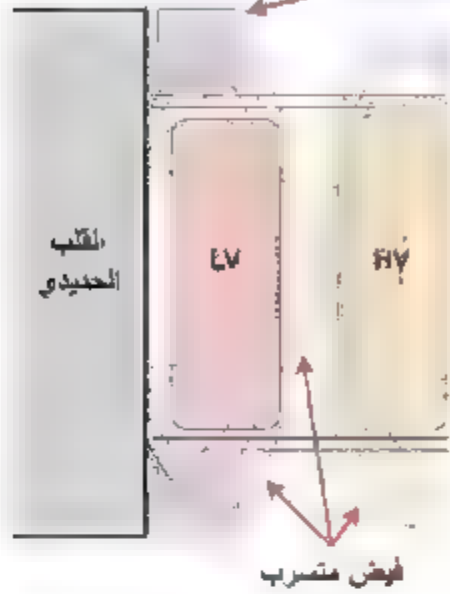
يُعتبر فحص مُفاعلة التسرب من الفحوصات الأكثر حساسية في الكشف عن خرابه ملفات المحول في حال تعرضه لأي نوع من أنواع الشوّه والإحتلاف في تركيبه الهيكلي، حيث يُعز هذا الفحص عن كمية الفيض المغناطيسي المُتسرب (أضاقه الصائغة) في المحول عند تطبيق فولتية متردد على ملفاته الابتدائية لأحد الأطوار في حين ملفاته الثانوية لنفس الطور مقصورة (**Short circuited**)، أو بمعنى آخر فإنه يُعز عن جزء من الطاقة الصائغة أو الهبوط في الفولتية أثناء قيام المحول بعمله وهو تروا الحمل بالطاقة الكهربائية اللازمة أو في حال كانت ملفاته الثانوية مقصورة كم دُملش هذا الفحص لسحبه المواقع (**Site test**) حادية الطور من فحص دائرة القصر المصغري (**Short circuit test**) من حيث السبب مع وجود تعثرات في طريقة الفحص ونظراً لأن فولتية الفحص أقل من قيمة الفولتية الاسمية للمحول فإن هذا الفحص يُعد من الفحوصات غير التدميرية (**Non-destructive test**)

في المحولات، لمداية تكون الطاقة المدخلة (**Energy in**) مساوية للطاقة الخارجة (**Energy out**) ولكن لا يوجد ما يُسمى بالمحولات الفعالة وذلك اوجود عناصر بالمحول تستهلك طاقة على شكل ضياعات في حالي الحمل (**Load**) واللاحم (**No-load**) والتي من شأنها عمل فرق بين طاقة المدخلة للمحول والخارجة منه ومن هذه العناصر

- ✓ مقاومة الملفات (**Winding Resistance**) وما ينتج عنه من ضياعات تُسمى بالضياعات النحاسية (**Copper Losses**) والتي يُشار إليها عادةً بـ (I^2R)
- ✓ مُفاعلة التسرب (**Leakage Reactance**) وما ينتج عنها من هبوط في الفولتية على طرفي المحول
- ✓ مُعددة القرب الحديسي مرور الفيض المغناطيسي (**Reluctance**) وما ينتج عنها من خسائر في الباترة المغناطيسية.
- ✓ التيارات الدوّرة (**Circulating currents**) والحاسية الهستيريه (**Hysteresis**) وما ينتج عنه من ضياعات ثابتة.

ونظراً لأن هذا الفحص يتم إجراؤه أثناء قصر (**Short circuit**) أطراف الملفات الثانوية بمحول فإن هذا الفحص يُعطي قيمة ضياعات الحمل أو القصر في حالها هذه وتعتمد ضياعات الحمل (**load losses**) على مقدار التيار العار في الملفات وعلى تردد مصدر جهد التريض المُتسرب (**Leakage Flux**) المُشع إليه في هذا الفحص مُفاعلة التسرب (**Leakage Reactance**) حيث تُمكن تعريف فيض المُتسرب (**Leakage flux**) على أنه الفيض الذي لا يتغلغل عبر قلب الحديد من ملفات الابتدائية إلى ملفات الثانوية وأيضاً لا يقطع الملفات الثانوية بشكل مباشر ويف تكون بالصيغة المقابلة ما بين ملفات أو يقطع الملفات الابتدائية فقط أي بمعنى آخر يُمكن تحديد مسار الفحص بهذا الفيض المُتسرب منه المواد العازة بين الملفات من مواد صلبة كالورق والخشب أو سائلة كالزيت أو الفيض في الهواء الخارجي بالإضافة للفيض الذي يقطع الملفات المنتجة له

ومما سبق فإن أي تعبير في قيمة هذه المُفاعلة الحثية (Leakage Reactance) عن القيمة المُصغرية أو المرحنة سُمثل بخلاف في حجم المسار المُتسرّب لهذا الفيض - بق الذكر - والذي يعكس الاختلاف في الحالة المبرأنة (الميكانيكية) الداخلية للمحول كنعبر



الشكل رقم (7-1)

المسافة الفاصلة بين الملفات (Winding Geometry) نتيجة لصناعة ميكانيكية خاصة أثناء نقل المحول من مكان لآخر أو تقادم المحول أو حدوث قصر أدى إلى نشوء تيارات عالية من شأنها التأثير بقوة ميكانيكية على الملفات مما أدى لتغير الأبعاد الداخلية للملفات هذا المحول، ويُعتبر هذا الفحص بالإضافة لفحص المواسعة وفحص تيار التهييج وفحص تحليل الاستجابة الترددية القسحي (SFRA) من الفحوصات المُكفلة لبعضها، حيث أن فحص تيار التهييج يعتمد على قيمة مُمانعة القلب الحديدي (Core Reluctance) كما تم شرحه في الفصل السادس من هذا الكتاب، أما فحص مُفاعلة التسرب فهو يساعد في الكشف عن تشوه الملفات

بالاعتماد على قيمة مُمانعة الفراغ أو المسار المُتسرّب (Space Reluctance) أي مسار المجال المغناطيسي خارج القلب الحديدي، أما فحص المواسعة فهو أيضاً يساعد في الكشف عن تشوه الملفات بالاعتماد على قيمته المُوسعة كما تم شرحه في الفصل الخامس من هذا الكتاب حيث أنه تشوه الملفات (Winding Deformation) الكبير قد يؤدي لتشوش المحول مباشرة أو دالك هذا تشوه صغير قد يؤدي لمشل المحول بعد مدة من الزمن قد تصل لعدة سنوات.

وكما ذكر سابقاً فإن سلامة أي محول تتلخص في سلامة ثلاثه أنظمة دحية للمحول وهي نظام العرب و نظام الميكانيكي والنظام الحراري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل المحول الكامل، وهذا الفحص يُمكن من كشف عن سلامة النظام الميكانيكي وذلك بالكشف عن أي تشوه أو رجة لمفرد المحول

ملحوظة (7-1): بالرجوع إلى معهد مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات (IEEE) فإن هذه الفحص يُسمى فحص مُفاعلة التسرب (Leakage Reactance)، أما اللجنة الكهرومغناطيسية الدولية (IEC) فقد اعتمدت إسماً آخر وهو فحص مُعاوقة القصر (Short circuit Impedance)



1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفعنا لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني للتأكد من سلامة المحول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحول (وهو مجال بحث في هذا الكتاب) أو لأسباب خاصة أخرى، ويتلخص هذه الأسباب بالآتي

1.1 في مصنع لصنط لجودة التصنيعية (Quality Control - QC) وكذلك يُعبر عن فحوصات القبول لفصيلة (Factory Acceptance Test - FAT) تحت مُسمى فحص مُدة وقفة العُضُر (Short Circuit Impedance) لتأكيد من سلامة المحول ومطابقتها للتصميم قبل تسه الموقع

1.2 في الموقع قبل كثرته المحول للمرة الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات القبول المُوقَّعة (Site Acceptance Test - SAT) للتأكد من سلامة المحول بعد تسه وتركيبه في الموقع

1.3 قبل كثرته المحول (Transformer energization) بعد نقل المحول من مكان لآخر

1.4 بشكل روتيني (Routine test) وذلك للكشف عن وضع المحول الحالي وإستخدام نتيجة هذا الفحص كمراجع (Reference value)

1.5 تحيد الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

كما هو معلوم أن هذا الفحص يهدف للكشف عن أي شذو أو إراحة لمعاملات المحول بذلك عادة ما يتم الإحواء لعمل هذا الفحص بهدف تشخيصي في حال تعرض المحول لظروف أو أحداث قد تؤدي إزادة لإجهاد ميكانيكي، واقع على ملفات وواب المحول 'جديدي وما تتركب، عديها من أعتدال ميكانيكية أو كثر ثبة المحول، وعلى سبيل مثال لا الحصر يُمكن إيجاد الأمور التالية

- تعرُّض المحول لإجهاد ميكانيكي ناتج عن عطل كثر في مثل الأعطال لأرصنة (Earth faults) أو أعطال العُضُر (Short circuit) أو ضربات البرق (Lightning) وما ينتج عنها من بارت ذات قيم مُرتفعة، أو تعرُّض محول لساواب دء (تدفق) مُرتفعه (High inrush currents)
- تعرُّض المحول لفصل قسري (Trip) نتيجة لتفعل مُرحل البوخلر (Buchholz relay) أو مرحل إرتفاع الضغط المفاجئ (Sudden pressure relay) أو غيره من الحمايات الفيزيائية
- ظهور قيم مُرتفعه ليصب العازات العائله للإحتراق الذئنه في ريب المحول (Dissolved combustible gas)

- قراءات غير جيدة لأجهزة تسجيل الصدمات (Impact recorder)، حيث أن هذه الأجهزة يتم تثبيتها على جسم المحور أثناء بقائه متأكد من عدم تعرض المحور للصدمات فوق الحدود المسموح بها كتحريضه لصدمه ميكانيكية كبيرة كالسقوط أثناء عملية النقل.

- اهتزاز المحور عن الرلزل أو غيره من كوارث الطبيعية والتي قد تحقق ضرراً ميكانيكياً بالمحور
- يرتفع درجة حرارة ملفات المحور حيث أن الارتفاع في قيمة الفيض بغيره يؤدي لارتفاع قيمه مقاومة ملفات نتيجة لظاهرة 'بشرية' (Skin Effect) والتي بدوره يزيد من قيمة التيارات الحادثة أو تيارات الحمل وما تسبب عنها من ارتفاع في درجة حرارة ملفات

- في حال حصول على نتائج فحصات غير مرضية خاصة لفحص التواصلة (Capacitance) أو فحص تيار التحريض (Excitation current) أو فحص تحليل الاستجابة لرددات القسحي (SFRA)

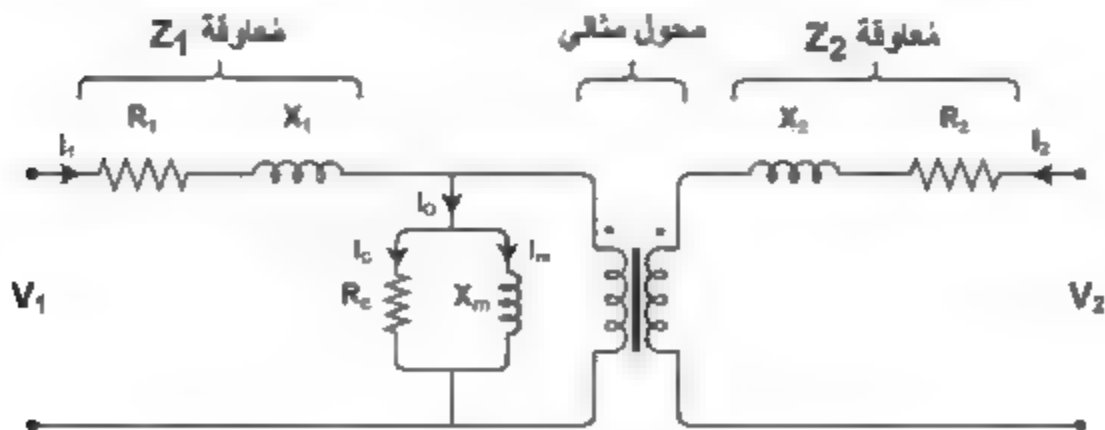
ومن الأعطال التي يتم كشف عنها من خلال هذا الفحص وجود تغير في الحالة الديناميكية (ميكانيكية) للملفات مثل حدوث تشوه أو إزاحة (Winding Deformation or Displacement) ناتج عن لأسباب سابقة الذكر أو غيرها من الأسباب كحدوث كسر لدعامات التثبيت الداخلية أدى لحدوث هذا التشوه

ففي حال تعرض المحور للصدمات أو الاهتزازات وامتصت أثناء انقاص فتره تسهل بصور اسهل الذي أدى لتشوه نسبة الملفات الغير دائرية، ثم وبما يخص التشوه الناتج عن التيارات الحادثة بعدة (Inrush currents) وتيارات الفحص (Fault currents) ولتجنب آليه حدوثه يمكن إيجاد لمحقق (7-2)

(2)

3. فلسفة الفحص

قبل الخوض في تفاصيل الفحص لابد من الإشارة إلى أن دائرة المكافئة للمحور كما ذكر سابقاً تتكون من معاوقة (Z - Impedance) لمعانيها الإحصائية والتأثيرية والتي تتكون من مقاومة (R - Resistance) ومفاعلة حثية (X_L - Reactance) على التوالي، بالإضافة لمعاوقة (R_C - R_C) ومفاعلة حثية (X_m - reactance) موصولة على التوازي، تمثل الأثر المعنوية للمحور كما هو مبين بالشكل (7-2)

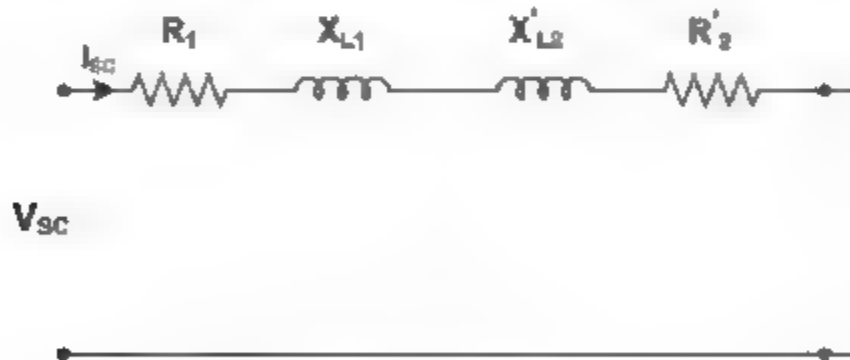


الشكل رقم (7-2)

وتكون هذه المعوقة (Z - Impedance) المسؤولة عن الهبوط بالموتمية على أطراف المحور وصيادات الحمل للمحول بالإضافة إلى أنها تُعطي إبطاءً عن سلوك المحول في > 1 حد وث أعصاب يقصر كما وتُها ذات قيمة مؤثرة في الحد من تيارات لعطل، لذلك عند تصميم المحولات يتم مراعاة أن تكون هذه المعوقة بسبب ذات قيمة كبيرة لكي لا يزداد الهبوط بالموتمية وصيادات الحمل وكذلك يجب أن لا تكون قيمتها شديداً لحد الذي يحد من تيارات العطل ففي طور التصنيع للمحول يتم إجراء فحص دائرة القصر لفحصي (Short Circuit Test) وذلك للتأكد من قيمة معوقة القصر للمحول (SC Impedance)، حيث بالرجوع إلى معايير معهد مهندسي الكهرباء وإلكترونيات (IEEE C57.12.00 [2015] و المعهد الوطني الأمريكي للمعيار (ANSI) فإن نسبة التنبؤ عن القيم التصميمية للمعوقة للمحولات ثباتها المنصب يجب أن لا تتجاوز ($\pm 7.5\%$) للمعوقات الأكبر من (2.5%) وما نسبته ($\pm 10\%$) من أقل من المعوقات لأقل أو مساوية (2.5%)، أم فيما يخص معايير لجنة الكيروسمية الدولية (IEC [2011] 60076-1 فإن نسبة التنبؤ عن القيم التصميمية للمعوقة للمحولات ثباتها المنصب يجب أن لا تتجاوز ($\pm 7.5\%$) للمعوقات الأكبر من (10%) وما نسبته ($\pm 10\%$) من التنبؤ للمعوقات الأقل من (10%)

سند سريان التيار الكهربائي في ملفات المحول سيؤدي ذلك إلى نشوء مجال مغناطيسي من شأنه الإستفال من اعادت الإستدانة المصناعات الثانوية عبر القلب الحديدي (Iron core) للمحول، ولكن هناك جزء من هذا المجال يتسرب خارج القلب الحديدي (Leakage flux) والذي يتم ستيه كلفاعله حثية (X_L - Reactance) وكم تُسمى مُداعة التسرب (Leakage Reactance) وهي أحد أسباب هبوط العواسية على أطراف المصناعات الثانوية للمحول، وتعتمد قيمة هذه المُداعة على عدد اللفات (N) وعلى قيمة تيار الحمل حيث كلما زاد التيار زاد الفيض وزاد معه الفيض المُتسرب، بالإضافة إلى أنها تعتمد أيضاً على الأبعاد الهندسية للمحولات والقلب الحديدي (Core and Winding Geometry) وهو ما يُعبر في معرفة قيمة المحول الداخلية في حال اختلاف قيمة هذه المُداعة لحثية

لشكل (7-3) يُمثل دائرة المكافئة للمحول عند تطبيق فحص مُداعته لتسرب (Leakage Reactance)

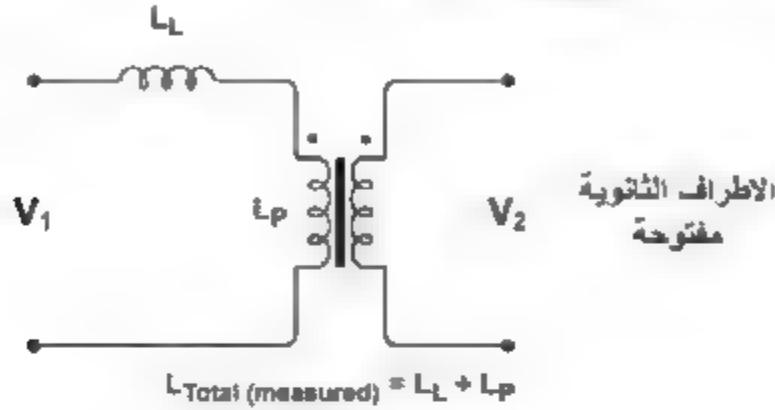


الشكل رقم (7-3)

ملحوظة (7-2): تم إهمال المركبات (R_C و X_m) الموجودة على اتوري بالدائرة المكافئة والتي تُمثل الدائرة المغناطيسية للمحول وذلك لقيمة تيار التحريض (I_m) المنخفضة

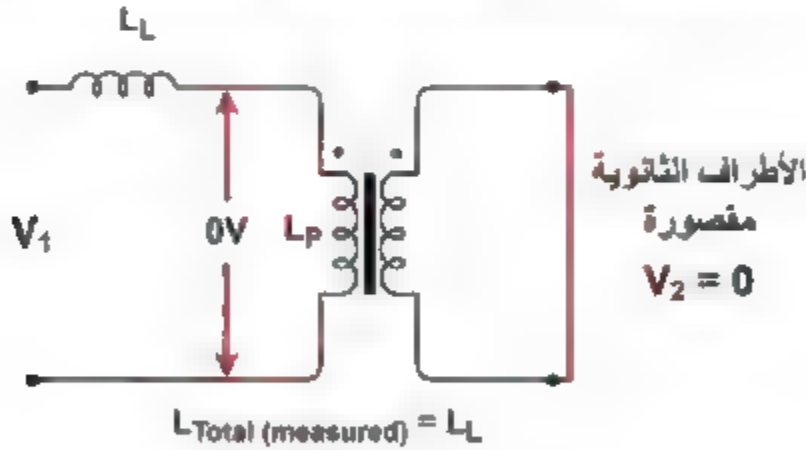


من الشكل (7-3) سبقُ تُمكن ملاحظة، إنه المحول المثالي من الدائرة المكافئة انحصار علماً بأن المحول المثالي يكون ذو محثّة بتساوية (L_p) تُمثل الحثّات نفسها، وكذلك الحثّات المتبادلة (L_g) ، ويعود السبب في ذلك إلى دائرة القصر (SC) المُطبقة على ملفات المحول الثانوية حيث قبل تطبيق دائرة القصر (SC) فإن قيمة الحثّة للملفات الابتدائية تُكنة ستساوي $(L_L + L_p)$ أي محدّته لتسرب مصفاً إليها محثّة الحثّات نفسها كما هو مُبين بالشكل (7-4)



الشكل رقم (7-4)

والكن عند تطبيق دائرة قصر على الملفات، إن دقة فإن مواساة الحثّات الثانوية نظرياً ستساوي الصفر $(E_2 = 0)$ ، مما يعني أن مواساة الحثّات الابتدائية تُصغر ستساوي الصفر أيضاً $(E_1 = 0)$ كما هو مبين بالشكل (7-5)، مما يجعل محثّة الحثّات المُتبقية تُكنة تساوي الصفر $(L_p = 0)$ ويحصل محثّة التسرب وحيدة مما يُسهل قياسها وهذا بدوره يُعسر ودليقه دائرة القصر عند إجراء هذا القياس



الشكل رقم (7-5)

وبعد عمل دائرة قصر $(Short\ circuit)$ على الملفات الثانوية يتم تطبيق قوليه على الملفات الابتدائية وقيرس لفولتية والتيار وأخسائر في القدره $(Watt\ loss)$ ، ومن ثمّ رد الإعتماد على القتم المُعساة يتم إحسّاب قيمة مُفاعلة التسرب $(Leakage\ Reactance)$

معروفة إضافية: غير تطبيق فحص دائرة القصر الحثّات $(Short\ circuit\ test)$ يُمكن إسحراح قيمه مُدوّقة المحول $(Impedance - Z)$ بالنسبة المئوية (%) وتُمثل هذه المُدوّقة مقدار الهبوط الفولتية

على أطراف المنفات الثانوية عند تطبيق 'عزلية الإسعبيه على الملفات لإثباته عند الحمل لكاس
لمحول (أو في حالة قصر الملفات الثانوية) كما هو مبين بالمعادلة (7.1)

$$V_{drop} = Z\% = \frac{I_{Full} Z}{E} \times 100\% \quad (7.1)$$

حسنة	
V_{drop}	: نسبة الهبوط بالفولتية.
$Z\%$: نسبة معاوقة المضر (Short circuit impedance %)
I_{Full}	: تيار الحمل الكامل (Full load current)
E	: فولتية الأطراف المفتوحة (Open circuit voltage)
Z	: قيمة المعاوقة والتي تتكون من المقاومة (R) والمفاعلة الحثية (XL)

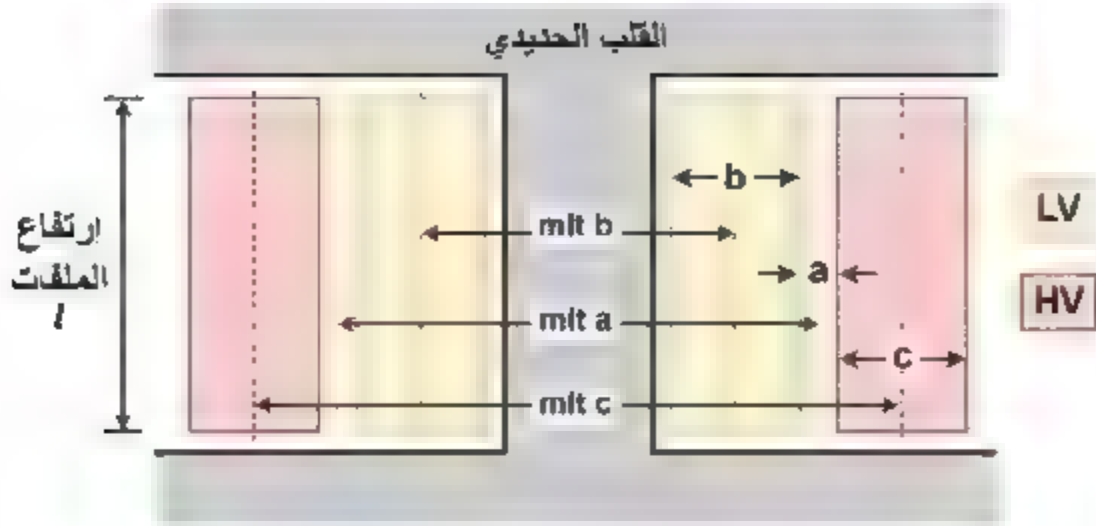
ونصراً لأن المقاومة (Resistance - R) تُشكل جزءاً صغيراً من امعاوقه (Impedance - Z) وذلك بسبب قيمة معامل القدرة (Power Factor - PF) المرتفعة في حالة تضاير منفات الثانوية (شبه
حمل حثي خالص) فإنه يمكن اعتبار أن (XL ≈ Z)، وعادة ما تكون قيمه معاوقه (Z%) محصورة من (4
- 20 %) لمحولات القدرة

ملحوظة: يُفضل أن تكون قيمة امعاوقه (Impedance - Z) مرسعة من وجهة نظر
تشغيلي شبكة الكهربائية (Grid) وذلك لما في ذلك من تيار ارتدادية (شبه
فصل) يخص التشغيل المالكه للمحول فيه يُفضل أن تكون قيمة هذه امعاوقه قليلة وذلك
لتقدير من قيمة الهبوط في الفولتية على أطراف المحول الثانوية ونفسيل صباعات الحمل
(Load loss) داخل المحول



• ويبقى التساؤل المطروح "كيف يُقلل فحص مُفاعلة التسرب (Leakage Reactance) على وجود
نشوء في منفات المحول؟"

كما هو معروف فإن، قيمة مُفاعلة التسرب (Leakage Reactance) للمحول تعتمد على عدد لفات (N)
ومقدار التيار في الملفات وما ينتج عنه من انبعاث التسرب (Leakage flux) بالإضافة إلى هندسيه
القلب الحديدي للمحول (Core geometry) كما هو مبين في الشكل (6-7). فبالإضافة إلى تأثير في الأبعاد
لهندسية المحول، من الحلول (خاصة أبعاد القلب الحديدي وما ينتج عنه من اختلاف في المسافة
لفاصلة بين الملفات) سوف يؤدي إلى اختلاف انبعاث التسرب انبعاثاً في تمام يعكس تأثير في قيمة
مُفاعلة التسرب (Leakage Reactance) والتي بدورها تُعطي إشارات عن وجود اختلاف في هذه الأبعاد
لداخلية للمحول



الشكل رقم (7-6)

والمعادلة (7.2) الثانية توضح تأثير أعداد المحوّل الداخليه على قيمه مُعاذلة التسرب (Leakage Reactance)

$$X\% = \frac{KF(3aml_t_a + bml_t_b + cml_t_c)}{\phi_m l} \quad (7.2)$$

حيث:

- K - ثابت يعتمد على نظام الوحدات المُستخدم.
- F - مقدار التيار لكل لفه
- ϕ_m - القيمة المُقطبي للفيض المغناطيسي في القلب الحديدي للمحول.
- وفيما يخص باقي الرموز يُمكن إيجادها من الشكل (7-6) السابق

ومنه فإن قيمة مُعاذلة التسرب (Leakage Reactance) تُدل على حدوث زحزحه أو تشوّه للمُعاملات قد يكون ناتج عن حدوث صدمة ميكانيكية أو حدوث عطل ذو ديارية عالية تُدّى إلى تعيّر هندسية للمُعاملات واختلاف المسار التسريبي للفيض المغناطيسي داخل المحوّل

4. أساليب الفحص

نلجّوُح إلى معهد مهندسِي الكهرياء و الإلكترونيات (IEEE) فمكن إجراء هذا الفحص باستخدام الأساليب التالية

4.1 الأسلوب الأول: الفحص أحادي الطور - Per phase test

في هذه لطريقة يتم الفحص كل طور على حده وذلك بتطبيق فولتية مترددة (AC) على طور واحد فقط من المُعاملات الإنشائية ذات المقاومة المربّعة للمحوّل (HV side) مع مراعاة قصر (SC) أطراف نفس الطور من المُعاملات الثانوية ذات المقاومة المنخفضة للمحوّل (LV side)، حيث أن المُعاملات نفس الطور

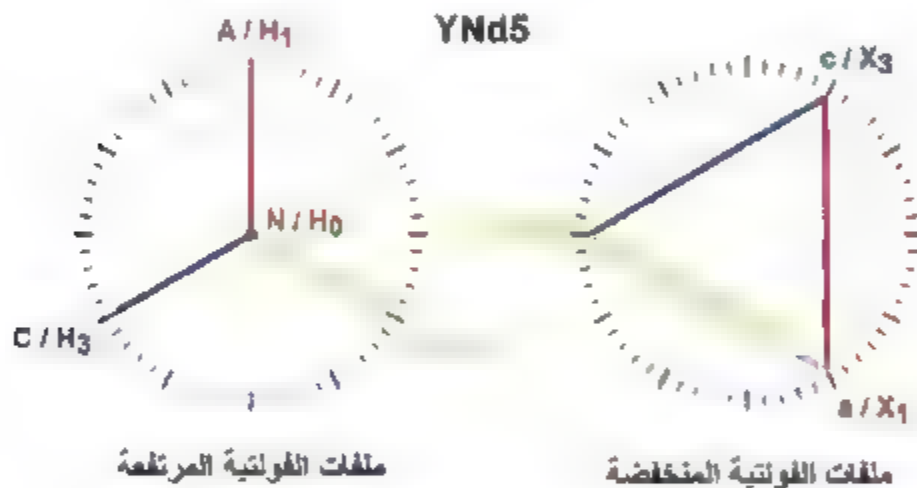
الجدول رقم (7-1)

مجموعة التوصيل - Vector Group	
YNyn	YNd
	Dyn

ويبقى التساؤل المطروح "كيف يُمكن تحديد أطراف الطور المُراد تطبيق الفولتية عليه وأطراف الطور التي يجب قصرها (Short circuited)؟"

لتحديد أطراف المحول يُمكن الاعتماد على الجدول الوارد في المُلحق (4-3) من فحص فحص نسبة لفات المحول (TTR) رقم (4). أو بواسطة الطريقة الآتية:

مثال: فنفرض هنا أردنا فحص محول ذو مجموعة توصيل (YNd5) نقوم برسم المخطط الشعاعي/الشعاعي (Vector phasor diagram) لتحديد المجموعة كالآتي



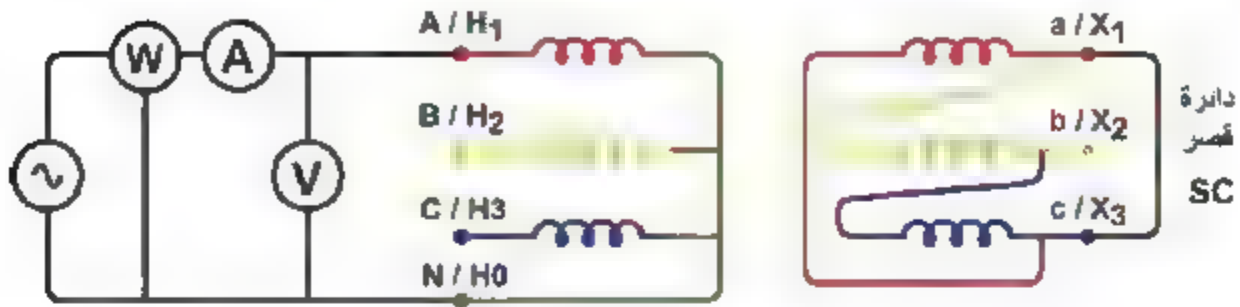
الشكل رقم (7-7)

ومن الشكل (7-7) يُمكن ملاحظة أن الأطراف الواجب تطبيق الفولتية عليها عند فحص الطور (A) هي (H1 - H0) والأطراف الثانوية الواجب قصرها هي (X3 - X1). وبعد فحص باقي الأطوار فإنها حسب الجدول (7-2).

الجدول رقم (7-2)

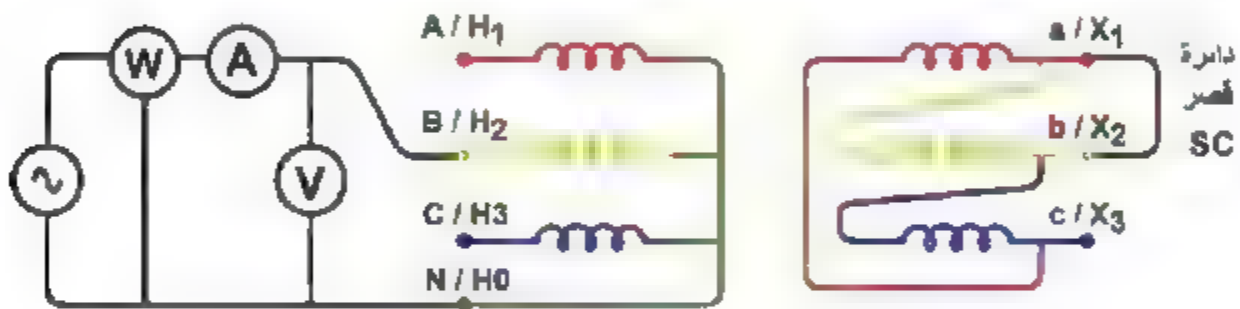
مجموعة التوصيل (YNd5)	
الأطراف التي يجب تطبيق الفولتية عليها	الأطراف الواجب قصرها (SC)
H1 - H0	X3 - X1
H2 - H0	X1 - X2
H3 - H0	X2 - X3

لتكون التوصيلة كما هو موضح بالشكل (7-8) والتي يُبين التوصيلة اللازمة لفحص الخطور (A) مع مراعاة تطبيق دائرة القصر (Short circuit) على ملفات المولدة المنخفضة ذات الصلة فقط



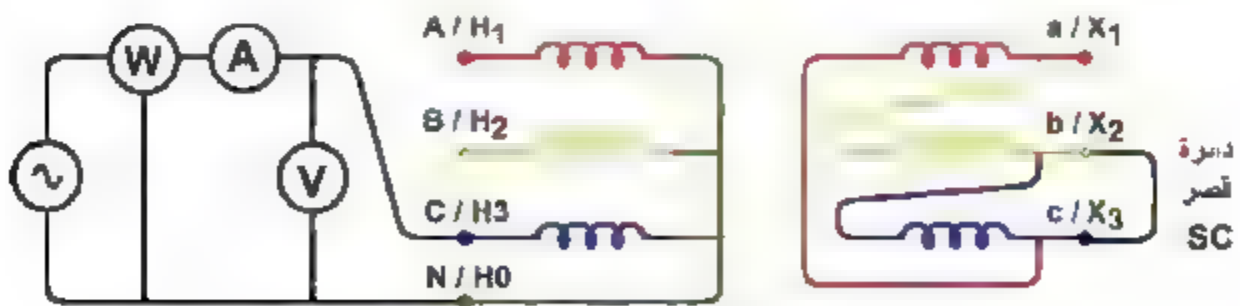
الشكل رقم (7-8)

وأفحص الخطور (B) يقوم بإجراء التوصيلة الموضحة في الشكل (7-9) والتي يُبين التوصيلة اللازمة لفحص هذا الخطور مع مراعاة تطبيق دائرة القصر (Short circuit) على ملفات المولدة المنخفضة ذات الصلة فقط.



الشكل رقم (7-9)

وأفحص الخطور (C) يقوم بإجراء التوصيلة الموضحة في الشكل (7-10) والتي يُبين التوصيلة اللازمة لفحص هذا الخطور مع مراعاة تطبيق دائرة القصر (Short circuit) على ملفات المولدة المنخفضة ذات الصلة فقط.



الشكل رقم (7-10)



ملحوظة (7-4) : يجب أن يتم توصيل الأسلاك المُستخدمة في قصر لمصباح بشكل مسبقاً قدر الإمكان حتى لا تصطب مقاومته ومعدته غير مرغوب بها في دائرة الفحص.

كما ويمكن إيجاد المصحى (7-3) الذي يُضم توصيله هذا الفحص بعض مجموعات التوصيل الأكثر شيوعاً.

• الحسابات اللازمة:

بعد استلام توصيلة كما تم شرحه مُسبقاً وإجراء الفحص بهذا الأسلوب يمكن استخراج قيمة التيار و المومية وحسائر القدرة وحساب قيمه المعاونه (Impedance - Z) عبر تطبيق المعادله (7.3) التالية

$$Z_m = \frac{V_m}{I_m} \quad (7.3)$$

ومن ثم يتم حساب قيمه زاوية الفطور (φ) بالاعتماد على قيمة خسائر السيرة بواسطة المعادلات التالية وذلك لينتج لنا حساب قيمة مُعدلة التسرب (Leakage Reactance).

$$P_m = V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (7.4)$$

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{P_m}{V_m \cdot I_m}\right) \quad (7.5)$$

ومن ثم يتم حساب قيم مُعدلة التسرب (Leakage Reactance) وفقاً للمعادلة (7.6) التالية

$$X_L = Z_m \cdot \sin(\varphi) \quad (7.6)$$

وبعد ذلك يتم حساب (X%) كنسبة مئوية ليتم مفارقتها بالفحوصات السابقة وفقاً للمعادله (7.7) التالية:

$$X\% = \frac{1}{10} X_L \frac{S_{1\phi}}{V_{winding}^2} \quad (7.7)$$

حيث:

$S_{1\phi}$ ، القدرة الظاهرية بالكيلو فولت أمبير (Apparent power - kVA)، الإسمية للملف بفرد فحوصه (per phase) وذلك بقسمة القدرة الكلية للمحول على 3 للمحولات ثلاثية الطور
 $V_{winding}$ ، قيمه الإسمية للمصباح بفرد فحصها بالكيلو فولت (KV)، بحيث يتم استخدام قولبيه الخط (Line to Line) للمصباح الموصولة على شكل مثلث (Delta - Δ)، وقولبيه لطور (Phase to Neutral) للمصباح الموصولة على شكل نجمة (Star - Y).

مثال توضيحي:

يُعلم أنه تم إجراء فحص مُفاعلة التسرب بالأسلوب أحادي الطور (Per Phase Leakage Reactance) لمحول ذو المواصفات التالية (3phase, Δ/Y, Base voltage 400kV, Base VA 200MVA) وكانت قراءات العولسية والتيار والقدرة وفقاً للتحويل التالي

جدول رقم (7-3)

الطور	الفولتية (V)	التيار (I)	القدرة (W)
A	245	1.1	8
B	250	1.2	8.5
C	255	1.2	8.5

تم إيجاد قيمته مُفاعلة التسرب (Leakage reactance) بالأوم ويُصاغ نسبته المئوية (X%)

الحل:

إيجاد قيمة المُعاوقة (Z) بالأوم للطور (A)

$$Z_m = \frac{V_m}{I_m} = \frac{245}{1.1} = 222.73 \Omega$$

حساب قيمة الزاوية (φ)

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{P_m}{V_m \cdot I_m}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{8}{245 \times 1.1}\right) = 88.3^\circ$$

حساب قيمة مُفاعلة التسرب (X_L) بالأوم

$$X_L = Z_m \cdot \sin(\varphi) = 222.73 \times \sin(88.3^\circ) = 222.6 \Omega$$

حساب قيمة مُفاعلة التسرب بالنسبة المئوية ($X_L\%$)

$$X\% = \frac{1}{10} X_L \frac{S_{rated}}{V_{rated}^2} = \frac{222.6}{10} \times \frac{66,666}{400^2} = 9.3\%$$

وبنفس الطريقة يتم الحساب لماقي الأطوار

وسأوجه قصور هذا الأسلوب (Per phase test) أنه لا يُمكن تطبيقه على جميع مجموعات التوصيل،

(Vector groups) للمحولات، حيث يلزم في هذا الفحص أن تكون نقطة التعادل (Neutral point)

ظاهرة لمصنفات 'موصولة على شكل نجمة (Star - Y) كما تم شرحه مسبقاً

4.2 الأسلوب الثاني: الفحص ثلاثي الطور المكافئ - Three phase equivalent test

في هذه الطريقة نقوم بتطبيق فولتية المبردة (AC) على طرفي الخط (line to line) لأحد أوصول

لمصنف الإنتدائية ذات العولسية المربعة مع مراعاة قصر (SC) أطراف الملفات الثانوية ذات عولتيه

لمتحفصيه جميعه ما عند نقطة التعادل (Neutral Point) إن وجدت، وفي هذا الأسلوب يتم مقدره

قيمة المعوقة الخفسة ($Z\%$ - Impedance) بقيمة معاوقة العنصر ($SC\ Impedance$) الخاصة من لفحص القصبي واغشية على لوحة بيانات المحوّل (Name plate)، حيث أن الإختلاف الرئيسي بين الفحص بهد الأسلوب وفحص القصبي أنه في هذا الأسلوب يتم استخدام مصدر فولتية أحادي الطور كما ويحدّد لإشدة إلى أنه يمكن تطبيق هذا الفحص بهذا الأسلوب على المحولات التي لا يمكن الوصول إلى نقطة التعادل (Neutral point) الخاصة بها مثل (Yy or Dy)، أما فيما يخص المحولات التي يمكن الوصول إلى نقطة التعادل (Neutral point) الخاصة بها فإنه يتم إجراء هذا الفحص بأسلوب الفحص أحادي الطور (Per phase test) كما تم شرحه سابقاً ومن أوجه قصور هذه الأسلوب مقارنة بالأسلوب أحادي الطور (Per phase test)، أن قيمة معاوقة العنصر الخفسة ($Z\%$ - Impedance) تكون للثلاثة أطوار مجتمعة مما قد يؤدي وحوا مشاكل على واحد أو أكثر من الأطوار.

ملحوظة (5-7): يجب التأكد من وصية تُعتبر الخطوة (Tap changer) عند إجراء الفحص بهد الأسلوب بحيث يجب أن تكون على نفس الخطوة (Tap) التي تم إجراء فحص العنصر القصبي عندها ليس من الضرورية المتاح بشكل صحيح

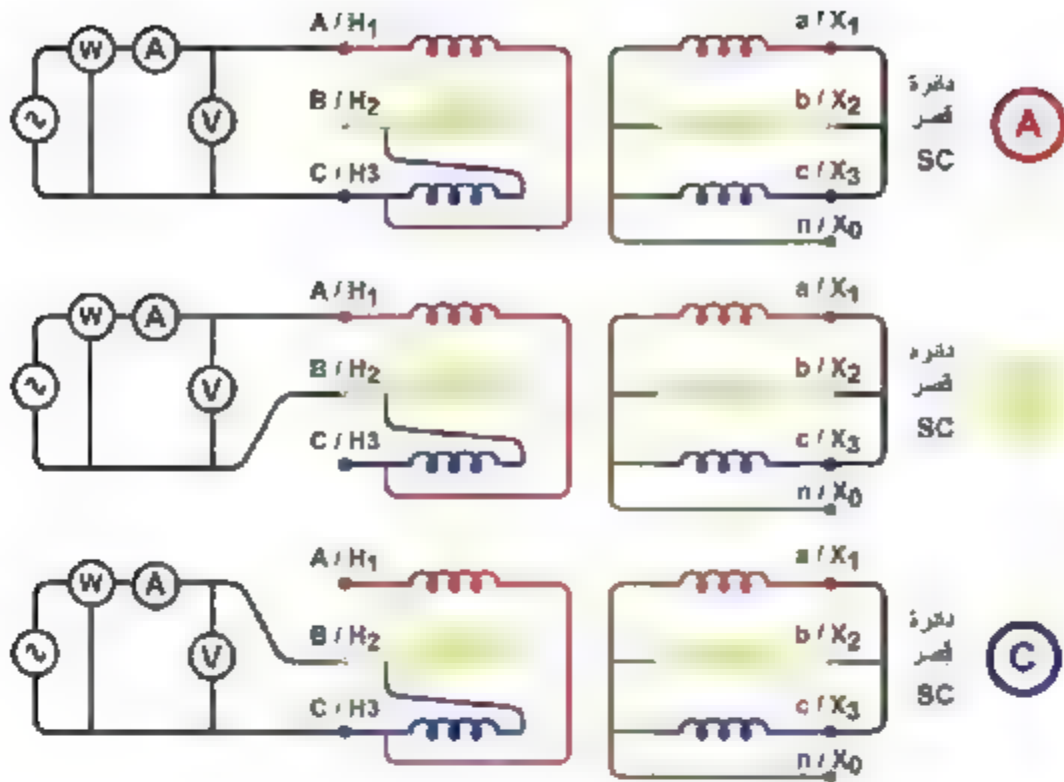


• المعدات المستخدمة بالفحص:

نفس المعدات في الفحص بالأسلوب أحادي الطور (Per phase test) سابق الذكر

• توصيلة الفحص:

تعتمد توصيلة الفحص على مجموعة التوصيل للمحوّل (Vector group)، حيث يجب تطبيق لموتية على أطراف الحدود (line to line) لأحد أطوار ملفات الإدخال، ذة ذات الفوتية المرتفعة ومصدر أطراف الملف ثانوي جميعها من عند نقطة التعادل (Neutral point) من وحدته كما هو مبين بالشكل (11-7) والله في يوضح توصيلة الفحص المحوّل ذو مجموعة توصيل (Dyn11)



الشكل رقم (7-11)

الجدول رقم (7-4)

الطور تحت الفحص	أطراف الحقن	الأطراف المقصورة	الأطراف المفتوحة
A	H1 - H3	X1 - X2 - X3	H2
B	H2 - H1	X1 - X2 - X3	H3
C	H3 - H2	X1 - X2 - X3	H1

• الحسابات اللازمة:

بعد اتمام ما توصيه كما تم شرحه مُسبقاً وبإجراء الفحص بهذا الأسلوب، يُمكن استخراج قيمه التيار و اعوانية وحسبتر قدرة وإحساب قيمه المقصوفة (Impedance - Z) عبر تطبيق المعادله (7.8) أدناه

$$Z\% = \frac{1}{60} \left(\frac{E_1 + E_2 + E_3}{I} \right) \left(\frac{S_{3\phi}}{V_{L-L}^2} \right) \quad (7.8)$$

أو

$$Z\% = \frac{1}{60} \sum Z_m \cdot \left(\frac{S_{3\phi}}{V_{L-L}^2} \right) \quad (7.9)$$

حيث:

$S_{3\phi}$	قدرة الظاهرية (السمية للعلقات المعحوصة بالكيلوفولت أمبير (kVA)
$V_{L L}$	قولنية الخط (Line) الإسمية للعلقات المعحوصة بالكيلوفولت (kV)
$E_{1,2,3}$	مجموع فولتيات المحصن المقاسة للأطوار الثلاثة.
I	قيمة تيار القياس
ΣZ_m	مجموع المعاوقات للأطوار الثلاثة.

ملحوظة (7-6). كما ذكر سابقاً أن المعاومة ($Impedance - Z$) تتكون من مركبتين رئيسيتين الأولى ماديه (R) و الثانية حثيه (X_L)، وعادةً ما تكون قيمه لمقاومه قليله خاصة للمحولات ذات السعة الكبيره (High power transformer) هناك يُمكن إستخدام مصطلح المعاومة ($Impedance - Z$) للإشارة بمقاومة الحثية (X_L) أو كما تُسمى مُعاولة التسريب (Leakage Reactance).



مثال توضيحي.

إذا سميت أنه تم إجراء فحص مُعاولة التسريب لاسلوب ثلاثي أطوار المتكافئ (Three Phase Equivalent test) لمحول ذو إموصد، لتأليه (3phase, Δ/Y , Base voltage 138kV, Base VA) وكانت قراءات المحصن وفقاً للجدول التالي.

الجدول رقم (7-5)

الطور	الفولتية (V)	التيار (I)	القدرة (W)	المعاوقة (Ω)
A	260	1.91	11	136.10
B	260	1.87	9.5	139.67
C	260	1.90	11	137.01

قم بحدد قيمة مُعاولة التسريب (Leakage reactance) بالنسبة لمثوية ($X\%$) و ($Z\%$) عودياً عنها

$$Z\% = \frac{1}{60} \sum Z_m \cdot \left(\frac{S_{3\phi}}{V_{L L}^2} \right)$$

$$Z\% = \frac{1}{60} (136.10 + 139.67 + 137.01) \frac{30,000}{138^2}$$

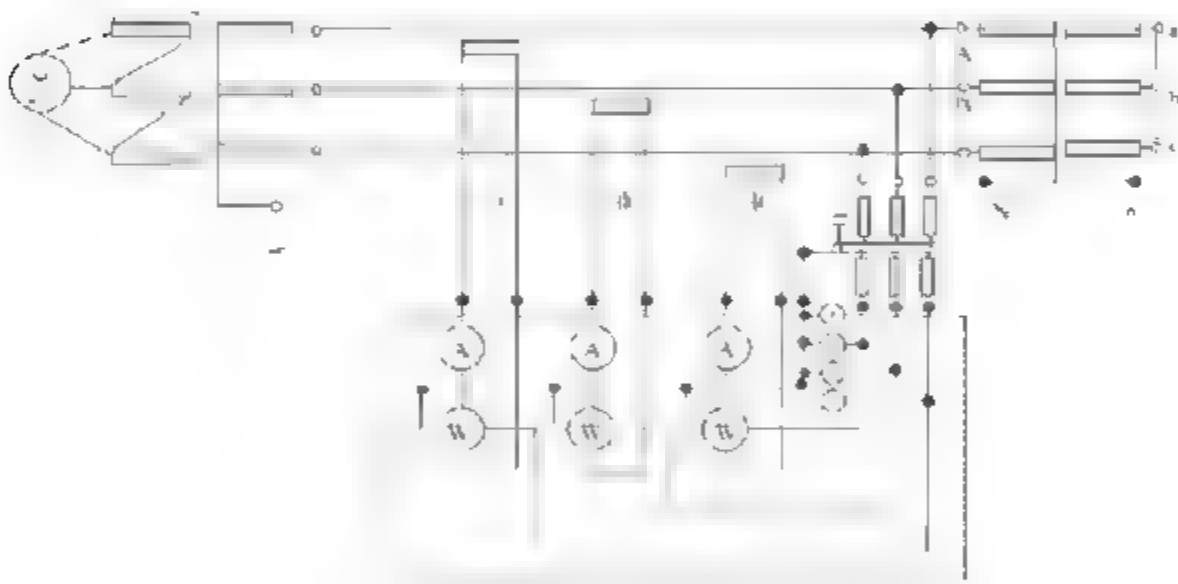
$$= 10.8 \%$$

4.3 الأسلوب الثالث: فحص القصر القصوي - Factory Short Circuit test

عادةً ما يتم المحو، لعمل هذا الفحص في حال تعذر إجراء الفحص بالأسلوب الأول (احادي بطور) (per phase test) نتيجة مجموعة توصيل للمحور الفراد فحصه كعدم وجود نقطة تعادل (Neutral point) يمكن الوصول إليها (ظاهرة)، ونصاً في حال تعذر إجراء هذا الفحص بالأسلوب ثلاثي بطور المكافئ (Three phase equivalent test) نتيجة لعدم توفر مصدر احادي بطور مثلاً

كما ونحذر الإشارة إلى أن إجراء الفحص بهذا الأسلوب لا يُعد من الفحوصات التشخيصية وبما وحب الحديث عن هذا الأسلوب لسفوفه بيهة ومن فحص ففاعله التسرب الموقفي (Leakage Reactance test)، حيث أن هذا الفحص يتم إجراءه بتطبيق الفولتية على أحمال (ثلاثة طور) محتتمعه دون نقطة التعادل) بصعباً حتى الوصول إلى التيار الاسمي في أحمال الإنتدانة عند ها يتم قسمة الفولتية التي ورس عند ها جهاز حقي عن الفولتية الاسمية للمحور مع مراعاة قصر أطراف المصاب لثبوتية (لثلاثة أطور محتتمعه دون نقطة التعادل).

وأيضاً يمكن إجراء هذا الفحص بالموقع باستخدام نفس التوصيل ولكن دون الوصول إلى قيمه التيار الاسمي ويسمى ها الفحص (Short circuit test - reduced current)



الشكل رقم (7-12)

لجدول (6-7) يُبين بعض أوجه الاختلاف بين فحص مُعاوقة القصر المصنعي (Short circuit test) وفحص مُفاعلة التسرب الحثوي (Leakage reactance test)

الجدول رقم (6-7)

وجه الاختلاف	فحص مُعاوقة القصر المصنعي Short circuit test	فحص مُفاعلة التسرب Leakage reactance test
تطبيق الفولتية	على الأقطار الثلاثة معاً	على طور واحد فقط
تيار الفحص	التيار الاسمي للمحول	تيار قليل (2 - 10 A)
فولتية الفحص	فولتية عالية قد تصل إلى 20% من لفوائيه الاسمية للمحول	فولتية قليلة (50 - 300 V)
القيمة المُقاسة	المُعاوقة %Z حسابات حمل I^2R مرفوعة بسعة لعمود التيار الاسمي	المُفاعلة %X حسابات حمل I^2R منخفضة نسب تيار الفحص القليل

5. خطوات الفحص

بعد التعرف على فلسفة الفحص وتوصيلاته وظيفته، حساب قيمة مُفاعلة التسرب، يُمكن البدء بخطوات الفحص كالاتي

5.1 عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع مرعاة تطبيق (LOTO) (Lock-out Tag-out)

5.2 عزل نظام مكافحة الحريق، الماء (أو كما يُسمى نظام تبريد آخر، المحلول، وبيع إنبشار لحريق) الخاص بالمحول المفرد فحوصه حثية عن ليلام بشكل حاد، أثناء إجراء الفحص مما قد يؤدي لمخاطر لقوس كهربائي وما يتطلب عليه من مخاطر على الأشخاص أو المحول خاصة أثناء تطبيق الفولتية على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز الفحص نفسه.

5.3 تطبيق كافة إجراءات السلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية المُصنفة في معايير معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Recommended Practices for Safety in High-Voltage and High-Power Testing) و المعهد الوطني الأمريكي للمعيار (ANSI National Electrical Safety Code) و مُصنعة إدارة سلامة والصحة المهنية (OSHA Specifications for Accident Prevention Signs and Tags)

5.4 فتح طرف الفولتية المُختصه (LV side terminals) ولأسوية المرتفعه (HV side terminals) وذلك ب إزالة موصلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذلك إحداث نقطة تعادل للمحول (Neutral point) إن وجدت.

5.5 تفريغ الشحنات المُخزنة بملفات المحول (Trapped Charges) قبل توصيل كوابل لفحص وذلك بعمل دائرة قصر للمعدات (Short circuit) وتأريضها لمدة من الزمن وكذلك إحداث بعد الإنهاء من لفحص وقس برة كوابل الفحص، بالإضافة إلى التأكد من تأريض حراء المحول أثناء إجراء الفحص



نحتييز: يكون تزييض كواس الفولتية المرصعة بما عير مُستعزلات التزييض الشدئة (Earthing Dis-connector) أو المصفلة (Portable) قبل لء بفك هءه الكوس عير عورر ءحراق المءءولات (Bushings)، وذلك لما قد ءءونه من قولسيه ءءيه (Induction voltage) باءة عير المءءاء أو المءءوط الموءئة (Overhead Lines) OHL =) المءاءرة للمءول المُرءء ءءصه والمءءءونه بقولءيء مرءءعه.

5.6 لءاك من أن ءرون المءول والقءب المءءءء موصول بالأرض بشكل مباشر (Solidly grounded)

5.7 ءسءل ءرءة ءرارة وسئة الرطوءة.

5.8 بأك من وصعة مُعزء المءول (Tap changer) ءءء ءكون عير ءءطوء اءءعبلءة المرءعة

للمءول أي ءءى ءكون عئءء مُعزء المءول أثناء العمء لءطبعى بمءول وهءاءى ءال كان المءءص

بالأسلوب اءءءى المءول (Per phase test)، ما فى ءال كان المءءص بالأسلوب ءلأى المءول المءاك

(Three phase equivalent test) وهءه ءءب ءءءار المءول (Tap) ءكون بفسها المءءص المءءى

أو المءصى لءءسنى لما مءارة المءاء بشكل صءءء.

5.9 عمل ءءوءبلءة المءاءة بهءا المءص ووساً لألءوب المءءص المُرءء ءرءء وكءا هو موءءء فى ءءرة

أسالبب المءءص مءءه لءكر بالءصافه المءوءء إلى المءءى (3-7) مءوءءب مءوءصىن الأءر شءوعاً

أو المءءى (3-4) من ءصل وءص سءه لءاء 'مءول (TTR) رءم (4) من هءا الكءب

5.10 مءءءق قولسيه مءرءءة (AC) عى المءاء لاءءءة المءءوءة على مءر مءصوءبى (10A - 1)

مءر ومءءار هءوءة الفوءئة من (30 - 100V) فوءء، وءاءة ما ءءم ءءءاء مءر ءءءص مءءاره (1A)

مءر مع لءاك من أن مءءار المءوءء بالفولسيه مءصوءبى (30 - 100V) وهءا لم ءكن كءلك ءسكن

رءاءه مءءار مءر مءءص المءصوء عى ءءمه الفوءئة المءاءة، بعء ذلك سوم بءساس السوءئة والمءر

لمءوء بالءصافه إلى ءساءر المءر وهءه ءءم ءءءب مءاءلة المءر كما م شرحه مءءءا فى ءءرة

أسالبب المءءص.

5.11 كما وءمكن ءراء هء المءص موءءله اءءء المءءص المءءءه كم هو سى فى المءءى رءم (1-7)

المءص مءر المءص (TESTRANO 600) المءصء بواسءة شركة (OMICRON)

6. ءصءء القءمة المءاءة

عير ءراء هء المءص بالأسلوب اءءءى المءول (Per phase test) ءابه لا ءاءه المءصءء القءمة

للمءاءة مءاً لءءءه ءرارة، وذلك لأن المءص عى الأصوار الءلأءه ءكون بءرباً عير بءص ءرارة

مء ءبب مءءرة سءءة المءص ءوء المءءه المءصءء، أما فى ءال ءراء هء المءص بالأسلوب الءلأى

للمءول المءاك (Three phase equivalent test) وأءاب مءءءه بالءءءة المءءه عى بوءة ساءب

للمءول (Nameplate) ءابه لاءء مءءصءء المءصءء المءاءة مءاً لءءه ءرارة وذلك موءءه المءاءه

لءصءة بذلك وءاءه فى ءءرة مءصءء القءمة 'مءءة من ءص ءص مءاءة لءءء (WRM) رءم

(3) من هءه الكءاب.

7. تحليل نتائج الفحص

يوجد عدة طرق لمحييل نتيجة فحص مُفاعله التسرب (Leakage Reactance) حسب أساليب الفحص المتبع ووفقاً لما ورد في معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.152-2013] بالإضافة لما ورد في الكتاب [Jill C. Duplessis, Electric Field Tests for the Life Management of Transformers]

7.1 الفحص بالأسلوب أحادي الطور (Per phase test):

بعد إجراء الفحص بهذا الأسلوب فإنه يجب مقارنة قيمة مُفاعله التسرب بنفسه كل طور بالأوم (Ω) مع قيمه مُفاعله التسرب المتوسطه (Average) للأطوار الثلاثة بالأوم (Ω) على أن لا تزيد نسبة التغير عن (3%) قيمة، وعدد ما يكون قيمة التغير لأدلت المحولات السريعة أقل من (1%) بالحنة

7.2 الفحص بالأسلوب ثلاثي الطور المكافئ (Three phase equivalent test):

في حال كان المحول جديد فإنه يتم مقارنة قيمة مُفاعله التسرب بنفسه بالقيمة المُثبتة على لوحة بيانات المحول (Nameplate) على أن لا تتجاوز قيمة التغير عن (3%) بالمنة. وفي حال مقدره نتيجة الفحص نتائج فحوصات سابقة فإن نسبة التغير يجب أن تكون أقل من (2%) بالمنة

8. العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

هناك عدة عوامل مؤثرة على نتيجة هذا الفحص والتي لا بُد من الإحاطة بها من أجل تجنب "أثرها أو لتخفيف منه على الأقل عند إجراء هذا الفحص، ومن هذه العوامل

8.1 مساحة المقطع العرضي للأسلاك المستخدمة في قصر الملفات (Winding Short circuit wires cross-section)

كما تم شرحه سابقاً فإن قيمة المُعاوقة (Z) تتكون من مقاومة (R) ومُفاعلة حثية (X_L) أو كما تُسمى بمُفاعله التسرب، وفي حال استخدام أسلاك ذات مساحة مقطع صغيرة هذا بدوره سيُضيف مقاومة غير مرغوب بها إلى دائرة الفحص مما يؤثر على قيمة المُعاوقة المُقاسة. لذلك يُنصح باستخدام أسلاك ذات مساحة مقطع عرضي (Cross-section) مساو أو أكبر من (TWAG) أي ما يعادل (424 mm^2) حسب معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.152-2013] كما ذكر سابقاً

وكذلك الحال إذا كانت الأسلاك المستخدمة في قصر (SC) الملفات الثانوية للمحول طويله ومرتبه بشكل حلقي فإنها ستضيف محثه غير مرغوب بها إلى دائرة الفحص من شأنها التأثير على نتيجة الفحص أيضاً. لذلك يُنصح باستخدام أسلاك ذات مساحة مقطع عرضي مناسبة بالإضافة إلى أن يكون أقصر ما يكون، وفي حال استخدام أسلاك طويله نوعاً ما يجب ترتيبها بشكل طولي لا حلقي للأسباب سابقة الذكر

8.2 وضعية مُغيّر الخطوة (Tap changer position)

عند تحليل النتائج ومباراة نتيجة فحص بالأسلوب ثلاثي الطور المكافئ (Three phase equivalent test) بأقيمته المُقننة على لوحة بيانات المحول (Nameplate) فإنه يجب ملاحظته وضعية مُغيّر الخطوة (Tap changer) أثناء إجراء الفحص بحيث يكون نفس الوضعية (Same tap position) التي تم إجراء الفحص عليها في المصنع أو خُتمة على لوحة بيانات المحول (Name plate) إما أنها من تأثير على نتيجة الفحص.

9. فحوصات إضافية دأمة

تُعتبر محولات من المُعدات ذات لأهميه القصوى في المنظومة الكهربائية لها من دور في ديمومة سريان التيار الكهربائي عن طريق رداء عناصر المنظومة الكهربائية جميعها بالإضافة إلى كلفتها المادية المرتفعة، لذلك لا يمكن الإعتماد على فشل فحص واحد لتقييم حالة المحول وأثناء فحص الإجراء التصحيحية لهذا المحول، بل يجب فحص فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما تم الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع الخلل بالصبط ثم بعد ذلك يُنصّر لعمل الإجراء التصحيحية اللازم لهذا المحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنّع هذا المحول.

بعد إجراء فحص مُفاعلة التسرب وكانت نتائج الفحص غير مُرضية بعد تحليلها وفقاً لما تم شرحه سابقاً، فإنه يجب إعادة الفحص بعد التأكد من جميع خطوات الفحص ومراجعة سجلات الأمور التي تؤثر على نتيجة هذا الفحص، وفي حال الحصول على نتيجة أخرى غير مُرضية لا يُنصح بوضع المحول بالختم فمن ضمن هذا دخلي بالإضافة إلى فحص الإجراء التصحيحية اللازم ولكن لا بُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى لتأكيد من وجود هذه الأعطال قبل البدء بالإجراءات التصحيحية ومنها كالتالي:

- فحص الفولتية المنخفضة السلي/الدفني - Low Voltage Impulse (LVI)
وذلك للكشف عن الحالة الفيزيائية لتقلب الحديد في وك، أن ملفات المحول
- فحص تحليل الإستجابة الترددية القسحي (SFRA)
وذلك للكشف عن الحالة الفيزيائية لتقلب الحديد في وك أن ملفات المحول، ولكن هذا الفحص لا يُعنى بنشوء أضرار فقط وإنما يركز على نطاق واسع من الخصائص الميكانيكية للمحول لذلك فهو غير حساس لنشوء الملفات بقدر فحص مُفاعلة التسرب
- فحص المواسعة (Overall Capacitance)
وذلك للكشف أيضاً عن الحالة الفيزيائية للملفات الحديدية وملفات المحول، ولكن هذا الفحص عوامل من شأنها التأثير على قيمة المواسعة مثل درجة الحرارة، بالإضافة إلى أن حساسية فحص المواسعة ليست كبيرة أي أن نشوء أضرار كبيرة في الملفات قد لا تظهر في فحص المواسعة أو قد تعطي تعبير طفيف على قيمة المواسعة المُقاسة.

الخلاصة: يمكن القول أن فحص مُفاعلة التسرب (Leakage Reactance) من أكثر الفحوصات حساسية لنشوء أضرار ملفات المحول.

الملحق (7-1)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص مُفاعلة التسرب باستخدام جهاز TESTRANO 600 by OMICRON



الشكل رقم (7-1-1)

• مواصفات الجهاز: حسب (TESTRANO600 Brochure)

- فولتية المدخل الاسمية : 100/240 V, 50/60 Hz
- فولتية المدخل المسموح بها : 85-264 V, 45-65 Hz
- نطاق تيار /فولتية المخرج . حسب الجدول التالي.

عدد الأطوار	نطاق الفولتية (AC)	التيار الأقصى (AC)
ثلاثي الأطوار	0 _ 230 V	100 mA
	0 _ 80 V	16 A
	0 _ 40 V	33 A
آحادي الطور	0 _ 240 V	16 A
	0 _ 120 V	33 A

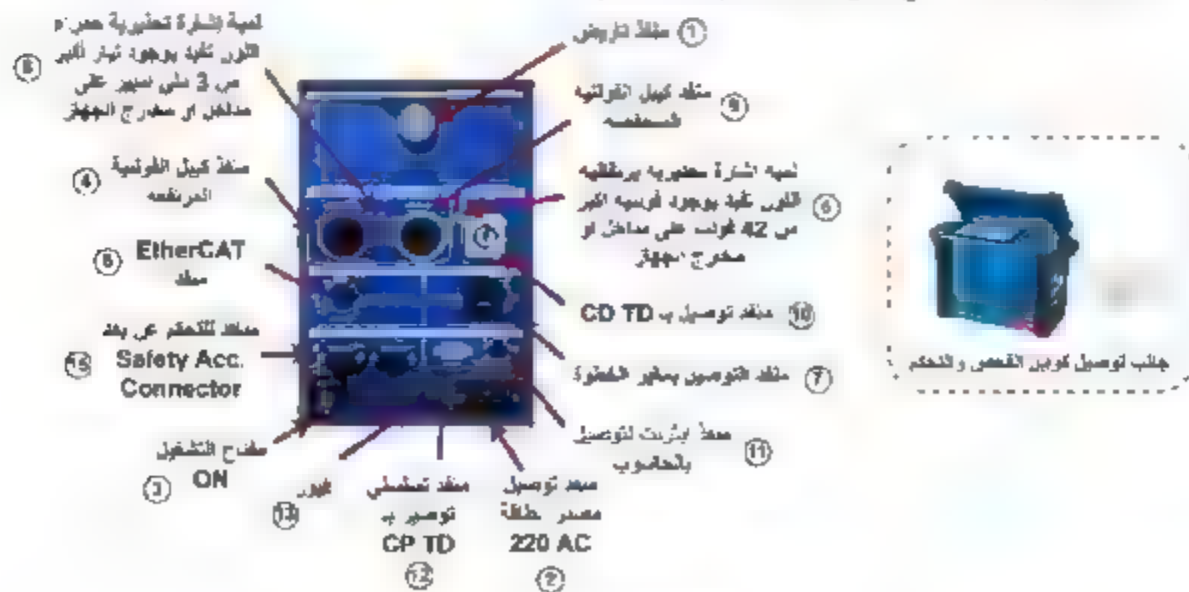
- دقة النطاق المقاس . حسب الجدول التالي.

دقة القراءات	النطاق
0.03% rd + 0.043% range	1.1 ... 10
0.027% rd + 0.043% range	1:10 ... 100
0.027% rd + 0.043% range	1:100 ... 1000
0.027% rd + 0.043% range	1:1000 ... 10000

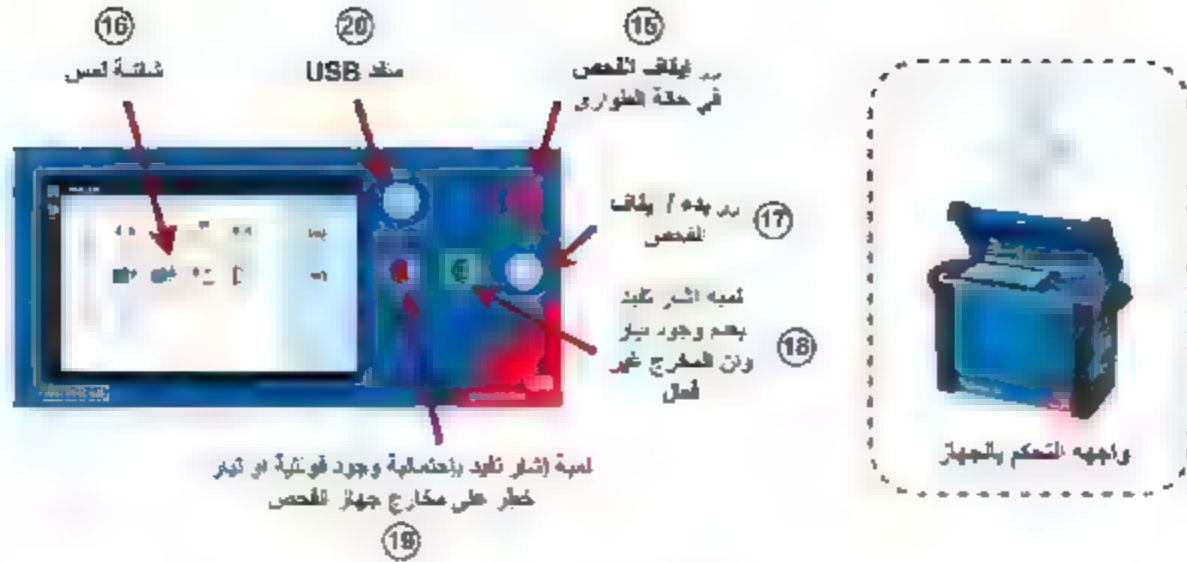
- بيئة تشغيلية محيطية 14° F to 131° F (-10° C to 55° C) RH to 95%, Non condensing
- بيئة تخزينية محيطية -22 to 158° F (-30 to +70°C)
- أبعاد الجهاز 580 x 386 x 229 mm :
- وزن الجهاز 45.5 lb. (20.6 kg), with display .

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. التأكد من دقة الخطوات (5.1 إلى 5.8) الواردة في فقرة خطوات الفحص من وصل وفحص شعايلة المستررب
2. التأكد من أن له ثرة الفرد لفحصها غير مكثورة وعدم وجود احتمالية كهنتها أثناء الفحص
3. تجنب لمس الأسلاك فحص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد التأكد من عدم وجود دوتية وأن الملفات تم تفريغها من الشحنات المخزنة تماماً.
4. التأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكابلات المشابك الخاصة بي (Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أية تآكل أو كسر في ربه كاشقوره، أو اكسور
5. التأكد من أن جهاز فحص الفرد يستخدمه معاير (Calibrated)
6. قبل البدء بالفحص يُفحص التعرف على أجزاء جهاز الفحص من شاشة ومساعد وأزرار ومفاتيح تحكم ولعبات إشارة كما هو مبين بالأشكال (7-1-2&3).



الشكل رقم (7-1-2)



الشكل رقم (3-1-7)

7. تهيئة منطقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية
 - 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للاشتعال في منطقة الفحص.
 - 7.3 التأكد من لنهوية الحيدة لمنطقة الفحص فيها إذا كانت مغلقة.
 - 7.4 التأكد من سلامة نظام التأريض في منطقة الفحص.
 - 7.5 وضع حوز حول منطقة الفحص وشوخص تنفيذ بوجود فحص ذو فونية ونيار خطر.
8. حصار جهاز الفحص (TESTRAND 600) إلى الموقع مع مرعاة وضع الجهاز داخل وعاء تعريضه لأشعة الشمس مباشرة وقت طويل، حيث أن لحرارة التشغيلية للجهاز يجب ألا تزيد عن (55°) درجة مئوية، وفي حال كانت الحرارة أكثر من (40°) درجة مئوية يجب الرجوع للكتيب التفصيلي (Manual) الخاص بجهاز الفحص لمعرفة التيار الأقصى الذي يمكن حمله من خلال الجهاز. وكذلك مراعاة جفاف أجزاء الجهاز جميعها قبل تشغيله.
9. التأكد من أن مفاصل التشغيل الخاص بجهاز الفحص رقم (3) في الشكل (2-1-7) على وضعه (OFF - 0) الموصحة على المفتاح.
10. التأكد من ضغط زر إيقاف الفحص في حالات الطوارئ (Emergency Push Button) رقم (15) في الشكل (3-1-7).
11. وصل جهاز الفحص بالأرض (Local station earth) عبر سلك الأرض رقم (1) في الشكل (1-1-7) بواسطة الكابل المؤد مع الجهاز من قبل الشركة المصنعة أو بواسطة كابل تأريض لا يقل مساحته مقطعه العرضي عن (6 mm²) ملمتر مربع قرب ما يمكن على تشغيل الجهاز تفصيل معاوقة لتأريض (Impedance) قدر المستطاع
12. التأكد من أن حوز المحول موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار تأريض ذو شعوقه قليلة (Low Impedance)
13. التأكد من أن كابل الأرضي لمصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز الفحص موصول بالأرض (Local station earth) بمعاوقة قليلة (Low Impedance)

- 14 توصيل جهاز الفحص بمصدر الطاقة الكهربائية عبر المعقد رقم (2) في الشكل (7-1-2) بحيث يتم وصل كبل الطاقة بجهاز الفحص أولاً ومن ثم بالمصدر الكهربائي.
- 15 تشغيل الجهاز بواسطة مفتاح التشغيل رقم (3) في الشكل (7-1-2) عن طريق غير وصعته من (0) إلى (1) الموضحة على المفتاح.
- 16 ملاحظة إن كل من هذه الإشارة حمراء اللون رقم (18) ولاحظه لارتفاع حواء بدء إيقاف الفحص (Start/Stop) في الشكل (7-1-3) وهذا يعني أن الخيار لا فحص تيار ولا فولتية كما ظهر في الشكل (7-1-4)



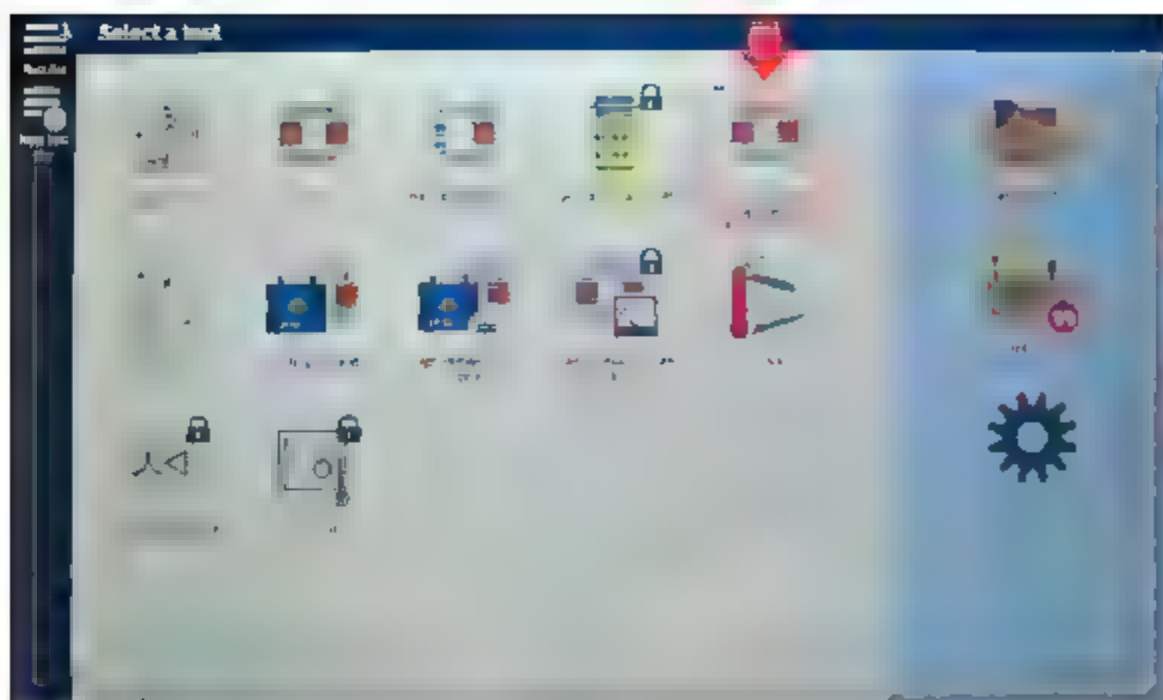
الشكل رقم (7-1-4)

- 17 في حال كل هذه مشكلة ما في التأكيد سوف يظهر رسالة على الشاشة تُفيد بذلك وستظهر علامة لثابتة أسفل لشاشة $\frac{1}{2}$ وفي حال عدم بقاء أي ضوء تحديري أو مظهر أنه رسائل تحذيرية على الشاشة غير ذلك يعني أن الأرضي والجهاز سليمين والجهاز نهياً لعمل باقي توصيلات ولبدء بالفحص

ملحوظة: يتيح جهاز الفحص (TESTRANO 600) إمكانية ضبط إعدادات الفحص و إجراؤه بطريقتين: الطريقة الأولى بواسطة شاشة اللمس (Touch Control) مباشرة، و الطريقة الثانية بواسطة توصيل جهاز الحاسوب بجهاز الفحص (TESTRANO 600) و القيام بفحص عبر برنامج (Primary Test Manger - PTM) حيث سيتم التطرق للطريقة الأولى فقط في هذا الملحق.

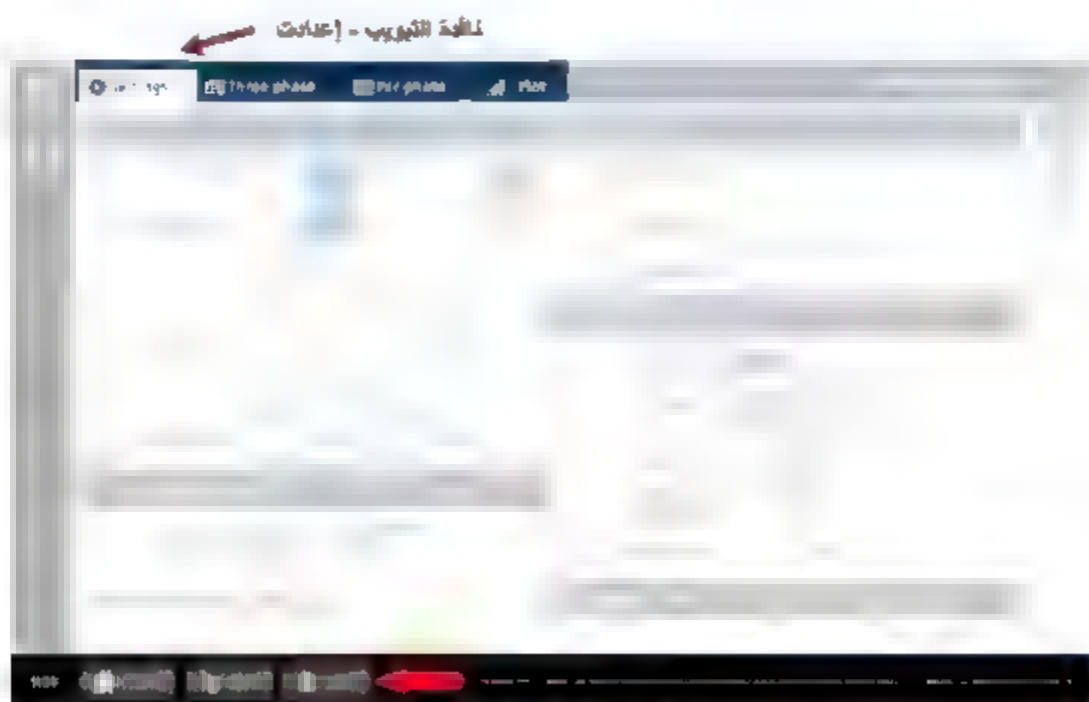


- 18 اختبار فحص ثفاعله التسرب (Leakage Reactance) أو معاوقه القصر (Short Circuit Impedance) من القائمة الرئيسية تظهره على شاشة اللمس (Touch Control) والمُقسمة في شكل (7-1-5)، حيث أن اسم الفحص يعتمد على المعيار المُستخدم لجهاز الفحص والذي يُمكن تحديده ضمن إعدادات جهاز الفحص فالرجوع إلى معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) فإن هذا الفحص يُسمى فحص ثفاعله التسرب (Leakage Reactance) أما فيما يخص اللجنة الكهروتقنية لدولية (IEC) فإن هذا الفحص يُسمى فحص معاوقه القصر (Short circuit impedance)



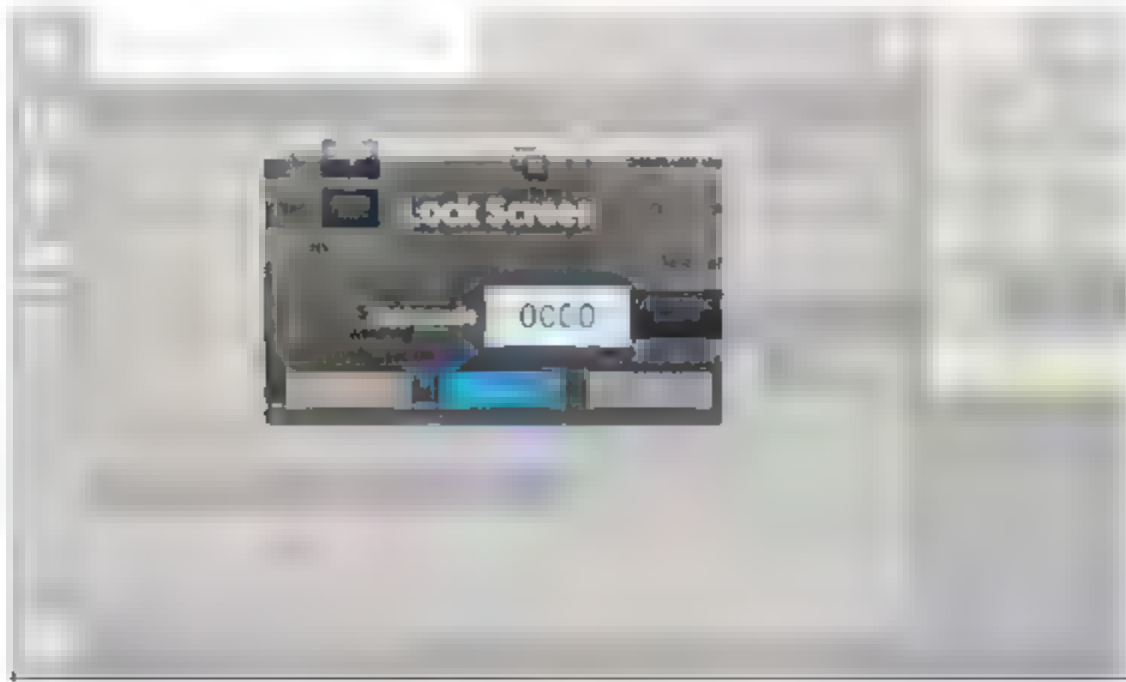
الشكل رقم (5-1-7)

19. بعد ذلك تظهر الشاشة المبينة في الشكل (6-1-7) والتي تكون دليلاً على هذه الخطوة بعد ذلك (Settings) بقوله بعمل وقس (Software Lock) لنحفظ على اوضاعه لأمنه أثناء عمل التوسيلة المبينة له، وذلك 'نضغط على زر الدفن الظاهر' أسفل الشاشة كما هو مبين في الشكل (6-1-7).



الشكل رقم (6-1-7)

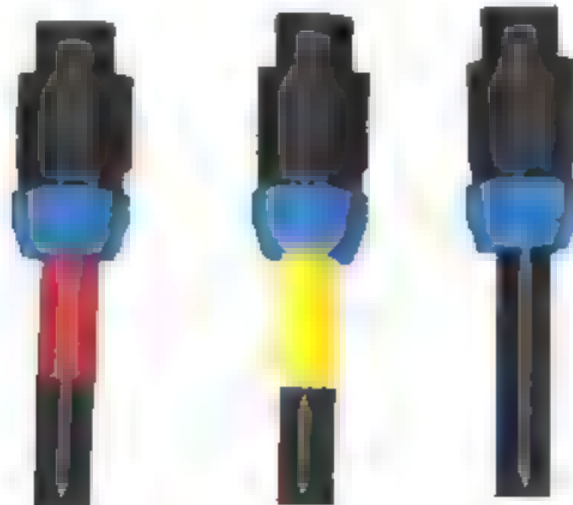
20 بعد الضغط على زر العنق (Lock) المُبين في الشكل السابق يظهر اعدادة لبرقية المُسبة في الشكل (7-1-7)، ثم قوم بفتح كود رياضي والضغط على كلفه (Lock) وبذلك يكون قد وصيت للوصية لآمنه للجهاز



الشكل رقم (7-1-7)

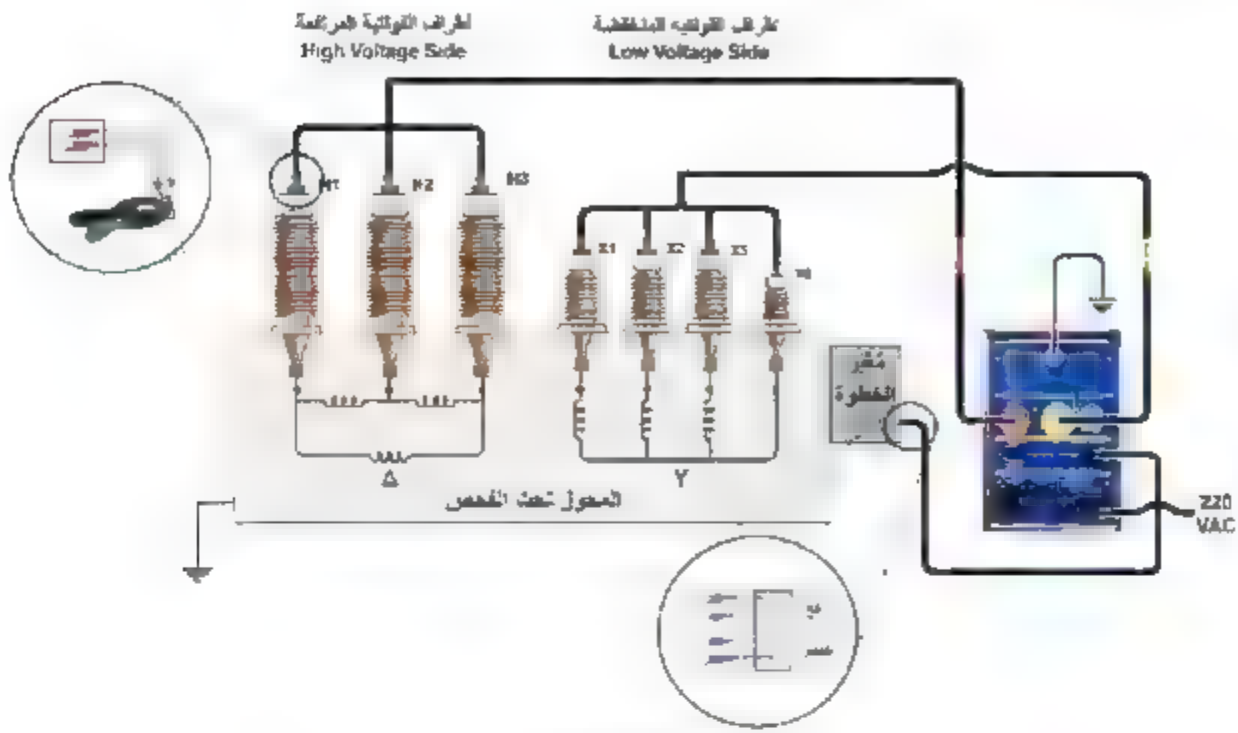
21 توصيل الكابل، صاهرة في الشكل (7-1-8) بجهاز المحص عبر اعدادة المُسبة في الشكل (7-1-2) كالآتي:

- 21.1 توصيل كابل الموثنية المربعة (الأحمر) بالمستد رقم (4) المُبين في الشكل (7-1-2)
- 21.2 توصيل كابل لفونة المخصصة (الأصفر) بالمستد رقم (9) المُبين في الشكل (7-1-2)
- 21.3 توصيل كابل مُعير الحطوة (الأسود) بالمستد رقم (7) المُبين في الشكل (7-1-2)



الشكل رقم (7-1-8)

22. توصيل كوابل جهاز الفحص بالمحول وفقاً للتوصيلة الفنية بالشكل (7-1-9).



الشكل رقم (7-1-9)

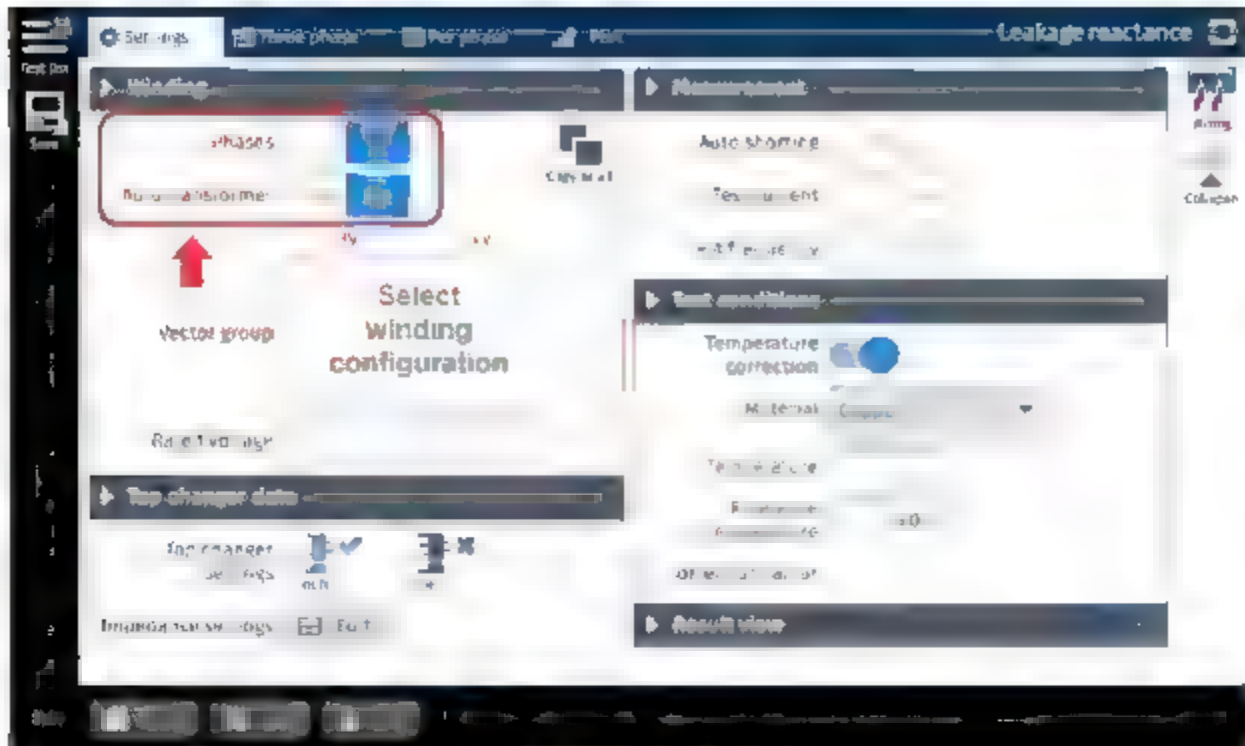
23. رفع الإضافة الكهربائية المُعَيَّر الخشونة (Tap-changer) فيما يلي كما موصوفة

24. التأكد من نصب حواجز السلامة بالإضافة للشواخص التحذيرية.

25. بعد الانتهاء من التوصية كاملة، يقوم بتحرير (Release) زر إيقاف، ليحضر في حالة الطوارئ (Emergency Stop Button)

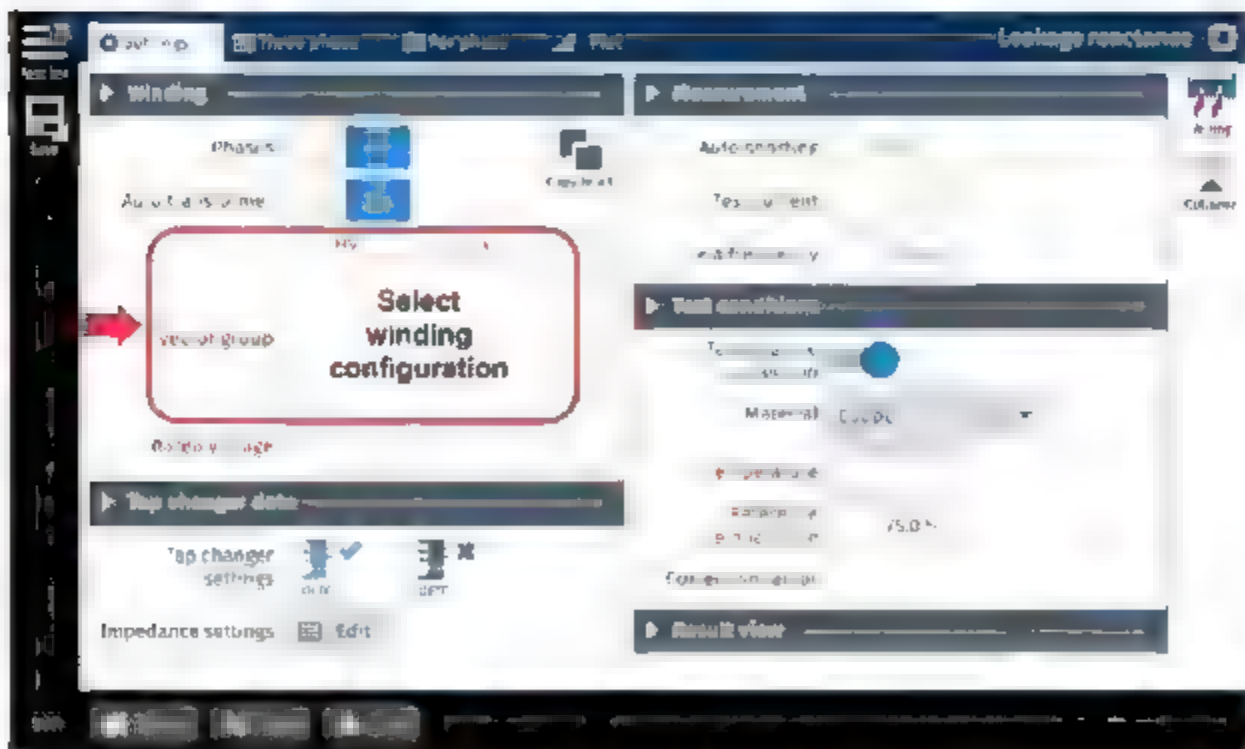
26. ارجوع شاشة لمس و إضاءة فعل الشاشة عبر إدخال الكود رباعي واضغط على أيقونة الإذعان ويمكن كذلك إضاءة فعل الشاشة عبر إضاءة الجهد وتفعيله مرة أخرى

27. من الشاشة اسأله في الشكل (7-1-10) والتي تكون باليد على نافذه لتبويب إعدادات (Settings) ثم تحديد عدد أنوار المحول لفراد فتحه اضغط على رقم (3) أي أنه ثلاثي الطور (3 phase transformer)، ثم يتم الضغط على (No) بحيث ليحول تلقائي (Auto Transformer)



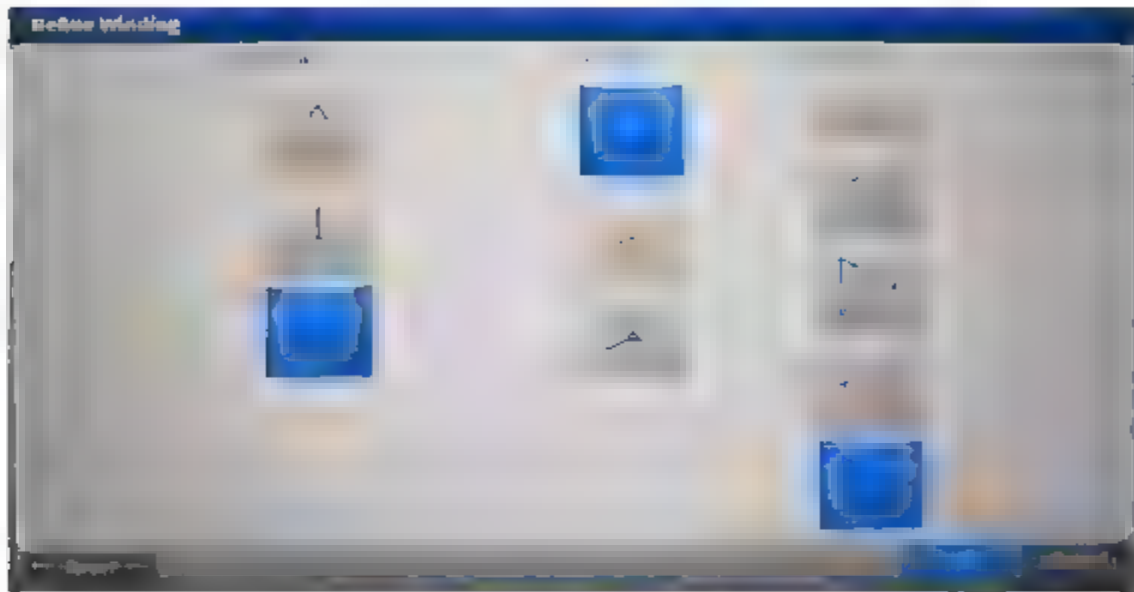
الشكل رقم (7-1-10)

28 يقوم بتحديد مجموعة التوصيل (Vector group) الخاص بالمحول مُراد فحصه وذلك بالضغط على جملة اختر مجموعة التوصيل (Select winding configuration) الظاهرة على الشاشة والقسمة في الشكل (7-1-11) لتظهر لنا شاشة تحديد مجموعته لتوصيل.



الشكل رقم (7-1-11)

29 من شاشة تحديد مجموعة التوصيل ظاهرة في الشكل (7-1-12) نقوم بحددها مجموعة لتوصيل لخدمة المحول الآخر فخصه، حيث تم تحديد المجموعة (YNd11) كمثل ثم اضغط على زر حفظ (Save).



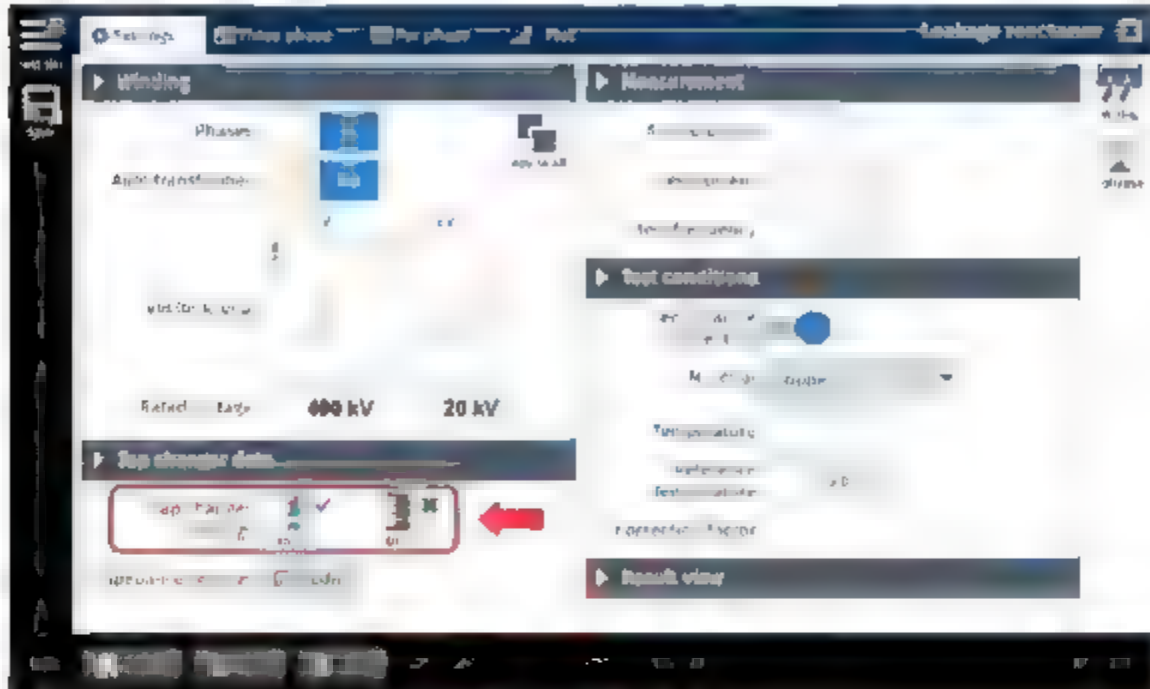
الشكل رقم (7-4-12)

30. تحديد نوعية الاسمية المحول، اشراد تحديد ودائن بإدخال قيمة هذه النوعية بالمكان المخصص لها كما هو مبين بالشكل (7-1-13).

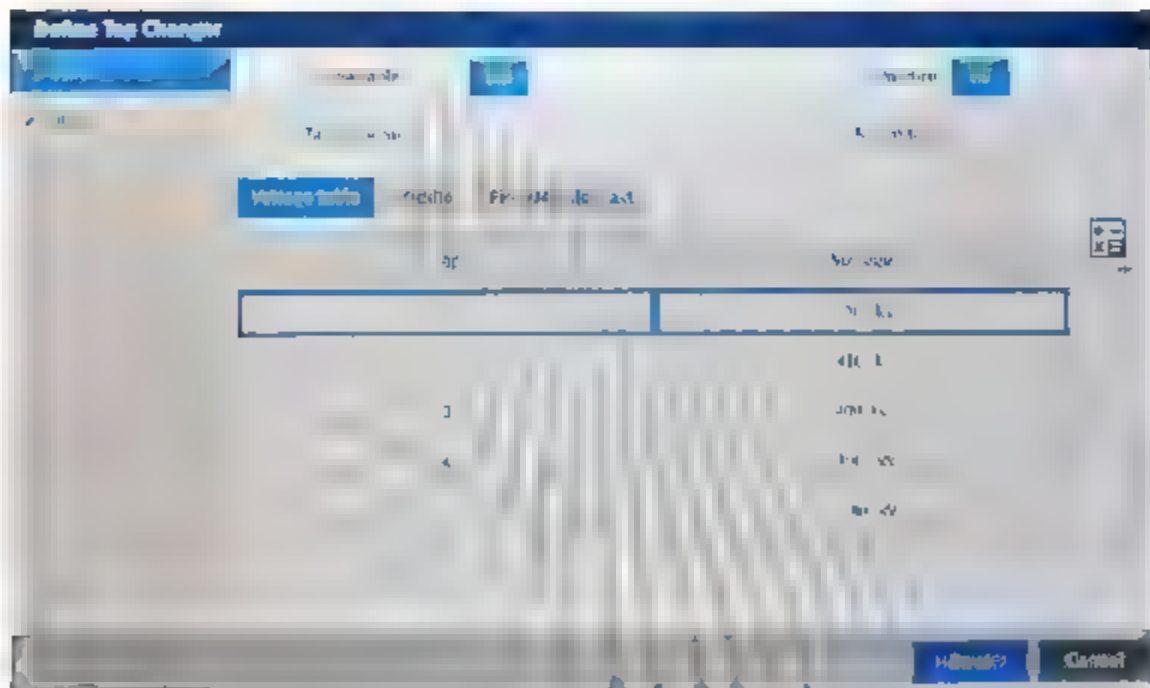


الشكل رقم (7-1-13)

31. نحدد نوع مُعَيِّر الخطوة (Tap Changer) فيه، إذ كان (OLTC أو DETC)، وفي حالتنا هذه نقوم بتحديد (OLTC) وذلك بالصعط عليها كما هو مبين بالشكل (7-1-14) يظهر ما سوفه الحثيه في الشكل (7-1-15) والتي من خلالها يُمكن إدخال المعنونات الخاصة مُعَيِّر الخطوة (tap changer) ومن ثم الصعط على زر حفظ (Save)

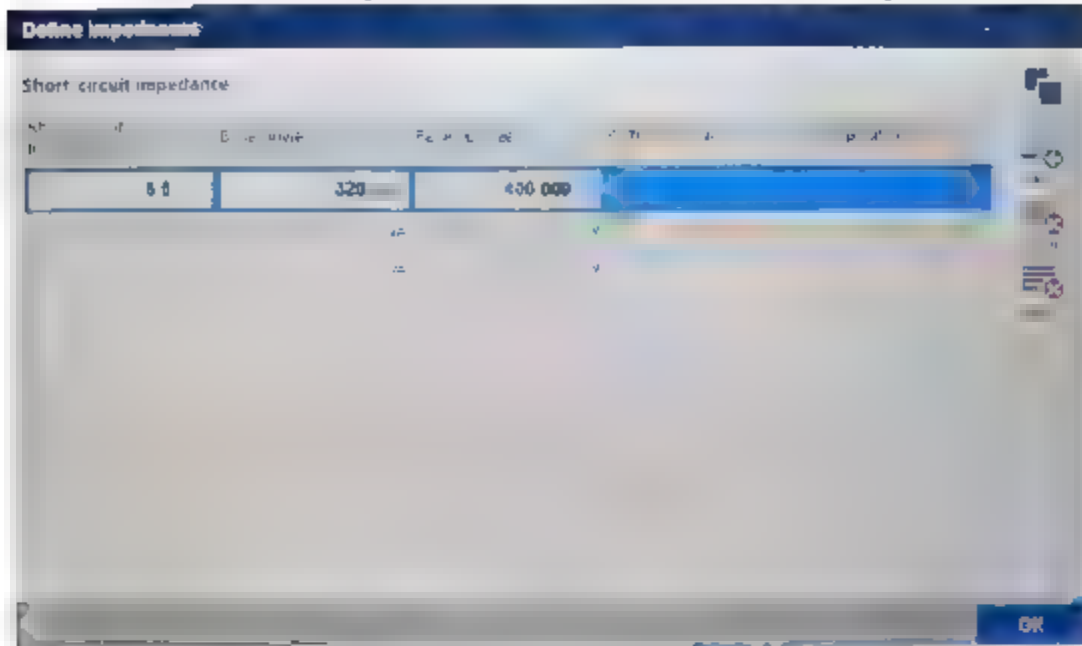


الشكل رقم (7-1-14)



الشكوك رقم (7-1-15)

32. ارجح قيمة معاوقه ، بخضر (Short circuit Impedance) بالإضافة هيمنة القدرة العاهرية للمحول وفولتية الخطوة (Tap Voltage) ورقم الخطوة (Tap number) وذلك بالصبط على كلمة تعديل (EDM) الظاهرة في شكل (7-1-14) لتظهر لنا الصفحة المسماة في الشكل (7-1-16)



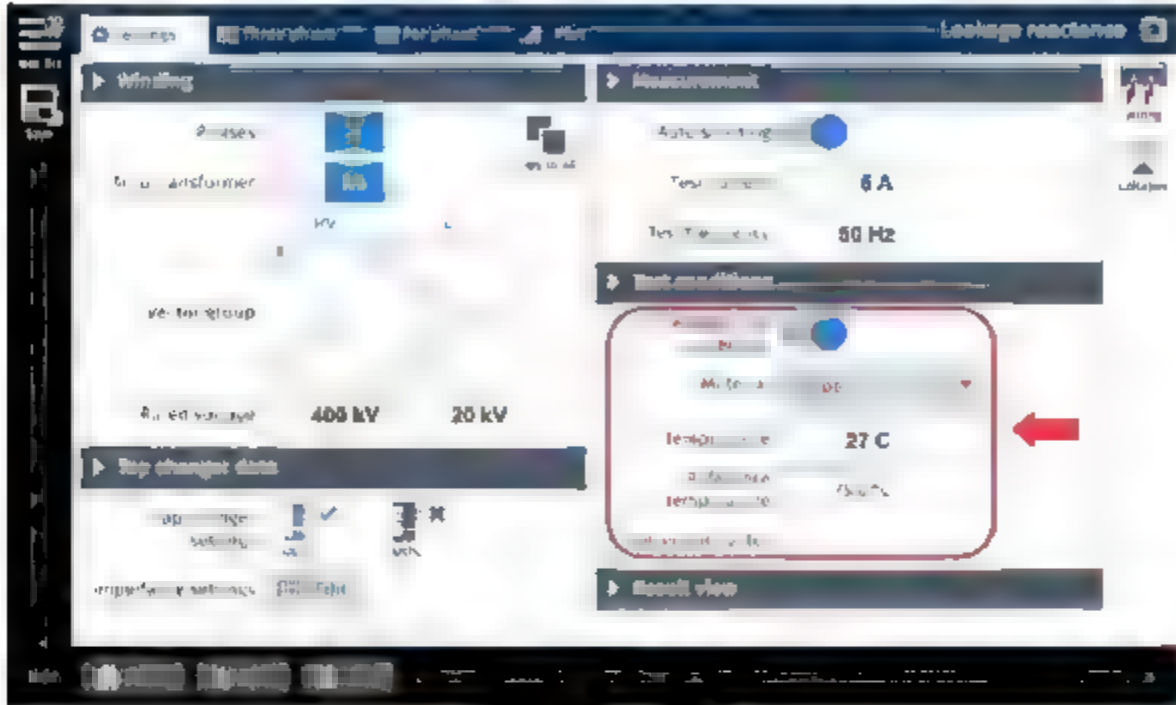
الشكل رقم (7-1-16)

33. تحديد آلية إجراء دائرة قصر لملفات المحول ذات الفولتية المتخفصة بحيث يُمكن إجراؤه بشكل يدوي (Manual) أو التلقائي (Auto shorting)، ويُعبر إجراء دائرة القصر بشكل التلقائي (Auto) وذلك بتفعيل الشرط بجانب كلمة القصر التلقائي (Auto shorting) وذلك بالضغط عليه ليتحول لونه للأزرق، بالإضافة لتحديد قيمة تيار القصر (يُمكن ضبط هذه القيمة على 5 أمبير) وكذلك تردد يتم تحديده (50 هيرتز) كما هو مبين بالشكل (7-1-17)



الشكل رقم (7-1-17)

34 تفعيل خاصية تصحيح القيمة 'مُعْفاة' درجة الحرارة القياسية المرجعية (75°) درجة مئوية مثلاً وذلك بالضغط على 'مُربط' بجانب كلمة تصحيح الحرارة (Temperature Correction) ليصبح لونه بالأزرق، بعد ذلك نقوم بإدخال درجة حرارة المحول أثناء الفحص بالإضافة نوع المادة لمكوّنه لمعدات وغادة ما يكون من 'نحاس (Copper)' كما هو مبين بالشكل (7-1-18)



الشكل رقم (7-1-18)

35 بعد ذلك نقوم بالانتقال إلى شاشة 'مُربط' (Three phase) في حال أراد إجراء الفحص بالأسلوب ثلاثي الطور المُكافئ، أو الإتصال لفائدة التوبيج الأخرى (Per phase) وذلك لإجراء الفحص بالأسلوب أحادي الطور، وبعد اختيار أسلوب الفحص بواسطة الضغط على التوبيج المناسبة وظهور إحدى الشاشتين لمبينتين في الشكل (7-1-19) ولبدء الفحص، نقوم بالضغط على زر البدء (Start) أسفل اليمنى الشاشة والتأكد من إدراج 'الحاجة' الرقعة حول زر (Start/Stop) لبدء الفحص في الشكل (7-1-4) وبذلك نكون 'أجهز' بوضعية 'إستعداد' للفحص


Three phase

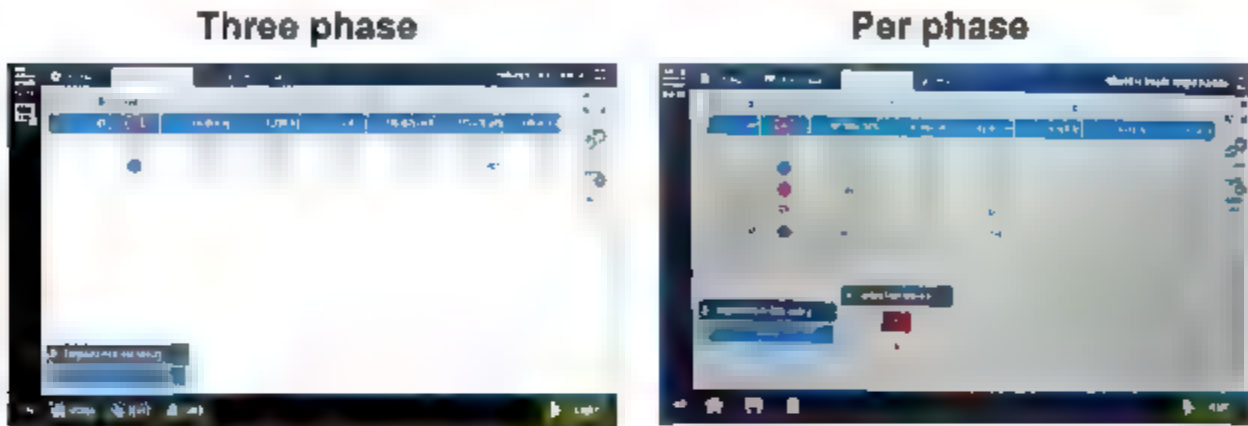
Per phase



الشكل رقم (7-1-19)

36. لصعته على زر إنداء/وقوف (Start/Stop)  الظاهر في الشكل (7-1-4) لينبأ الفحص ويتم لحقن الفعلي للبار وبعد الصواء الأحمر  والحلقة الزرقاء حول زر (Start/Stop)  بالومبص بشكل متقطع

37 بعد الإنتهاء من الفحص يومض الصواء الأخضر  ويعدف يمكن إيجاد استئح في علامه تنوب احادي أو ثلاثي الصور (Tree/Per phase) كما هو مبين بالشكل (7-1-20) وذاك يكون قد انتهى لفحص



الشكل رقم (7-1-20)

تحذير: لا تقيم إدارة أسلاك الفحص في بعد التأكد من أن امة الإشارة لتحذيرة الحمراء على الواحفة الأمامية (الرئيسية) لجهاز فحص مُضبطة (OFF) ومباد الإشارة لتحذيرة على الواحفة الخلفية جهاز الفحص مُضبطة أيضاً (OFF)، وكذلك امة الإشارة الخضراء على الواحفة الأمامية (الرئيسية) لجهاز الفحص مُضبطة (ON).



الملحق (7-2)

كما هو معلوم أن الموصلات الحاملة لتيار وواقعة في مجال مغناطيسي تتعرض لقوى ميكانيكية شتى طبقاً لقانون أمبير (قاعدة اليد اليمنى)، لذلك عند تصميم المحولات يتم أخذ هذه القوى بعين الاعتبار ليتمكن المحول من تحمل هذه القوى والإجهادات الميكانيكية أثناء حدوث الأعطال وتثناء الظروف التشغيلية الطبيعية. ولكن قد يزداد قيمة هذه القوى المؤثرة عن المملكات فوق الحدود المسموح بها نتيجة لمرور تيارات عطل بقيمة مرتفعة مما يؤدي لظهور قوى كهرومغناطيسية (Electromagnetic forces) كبيرة محدثة تشوه للمملكات، حيث تعتمد قيمة هذه القوى على قيمة التيار المار في هذه الموصلات الواقعة ضمن مجال مغناطيسي (Magnetic Field) كما هو مبين بالشكل (7-2-1) و المعادلة (7.2.1)



الشكل رقم (7-2-1)

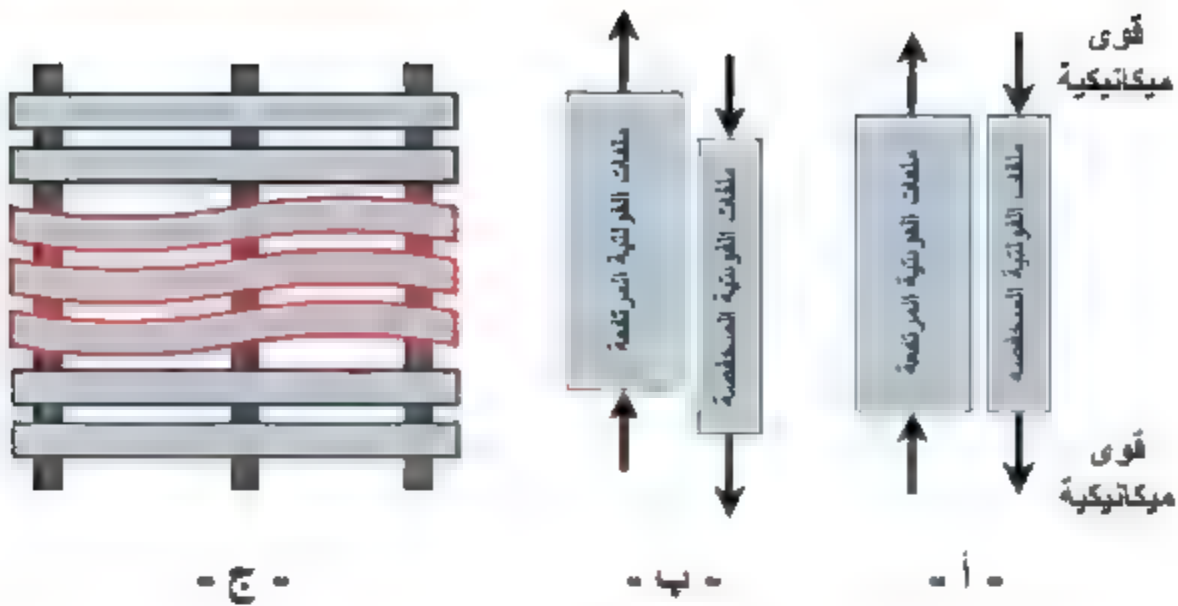
$$\vec{F} = I \int d\vec{l} \times \vec{B} \quad (7.2.1)$$

حيث (I) مثل التيار المُتحَي (Current vector) بالأمبير (A) و (l) تمثل طول الموصل المار (m) و (B) تمثل كثافة الفيض المغناطيسي المُتحَي (Flux density vector) بالتسلا، ففي حال مرور تيار مرتفعه المقدر بكتيارات العطل (المصر) أو تيار البدء (Inrush currents) سيؤدي ذلك لزيادة القوى المؤثرة على المملكات مما ينتج عنه تشوه في التية الفيزيائية للمملكات، وهذا التشوه يتلخص بالأنواع التالية لا حصراً:

✓ التشوه المحوري (Axial Deformation)

ويظهر هذا النوع من تشوه المملكات نتيجة لتعرضها لقوى محورية (Axial Forces) قد تؤدي لتشوه مبدد التروس المرتفعة والمخفضة كإزاحتها وفقدانها المتبادل مما فيها كما يظهر بالشكل (7-2-2)

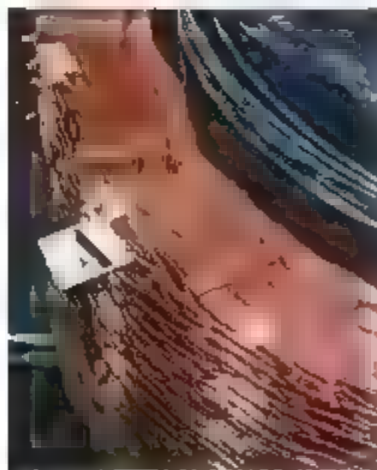
(2)



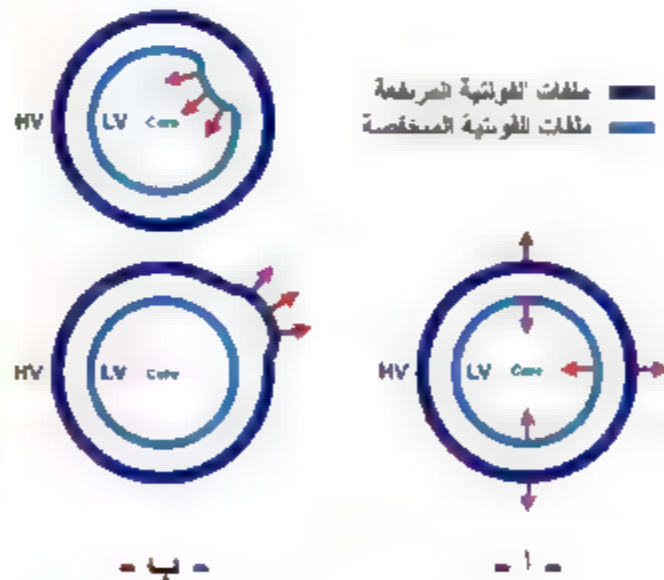
الشكل رقم (7-2-2)

✓ التشوه الشعاعي/القطري (Radial Deformation)

ويظهر هذا النوع من تشوه الأمعاء نتيجة تعرضها لقوى شعاعية ضاغطة (Radial Forces) قد تؤدي لتشوه منحنى هوائيه مرتفعة أو المنخفضة كما يظهر بالشكل (7-2-3) الذي يُظهر نوع آخر من تشوهه (Free buckling) بالإضافة لنوع آخر وهو التشوه القسري (Forced buckling)



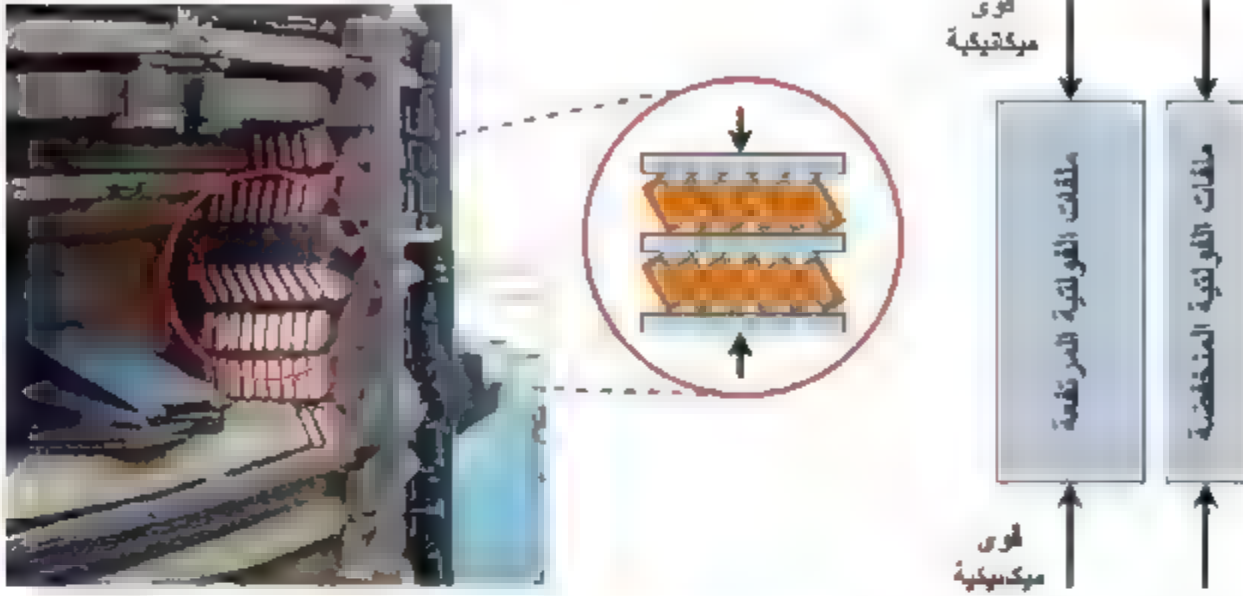
ج -



الشكل رقم (7-2-3)

✓ ميلان الموصلات – Conductor Tilting

ويظهر هذا النوع من تشوه الملفات نتيجة لتعرضها لقوى ضغط تؤثر على مسافات الموصلات المرتفعة أو المنخفضة نفسها والذي بدوره يؤدي لتشوه نسبة المسافات لذخية كما هو مبين بالشكل (7-2-4)



الشكل رقم (7-2-4)

بالإضافة لأنواع كثير مختلفة من شوهات الملفات والتي قد لا يؤثر شكلها بحسبي على أداء المحول، ولكنها ستؤدي إلى تغير إجهاد الفولتية (Voltage stress) للمدد العزلة محدثةً تفرع جزئي (Partial discharge) من شأنه إضعاف وفشل هذه المادة العازلة مما يؤدي إلى حدوث أعطال مثل قصر بين لفات المحول (Turn to turn fault) في الغالب، ومن الجدير بالذكر أنه للمحولات ذات القلب الحديدي ثلاثي الأعمدة (Core type) و لمعدن من النوع (Concentric) فإن الإزاحة أو التشوه المحوري (Axial) يُعد أكثر خطورة من بطوره الشعاعي/القطري (Radial) وقد يؤدي إلى فشل المحول بشكل كبير وخسر

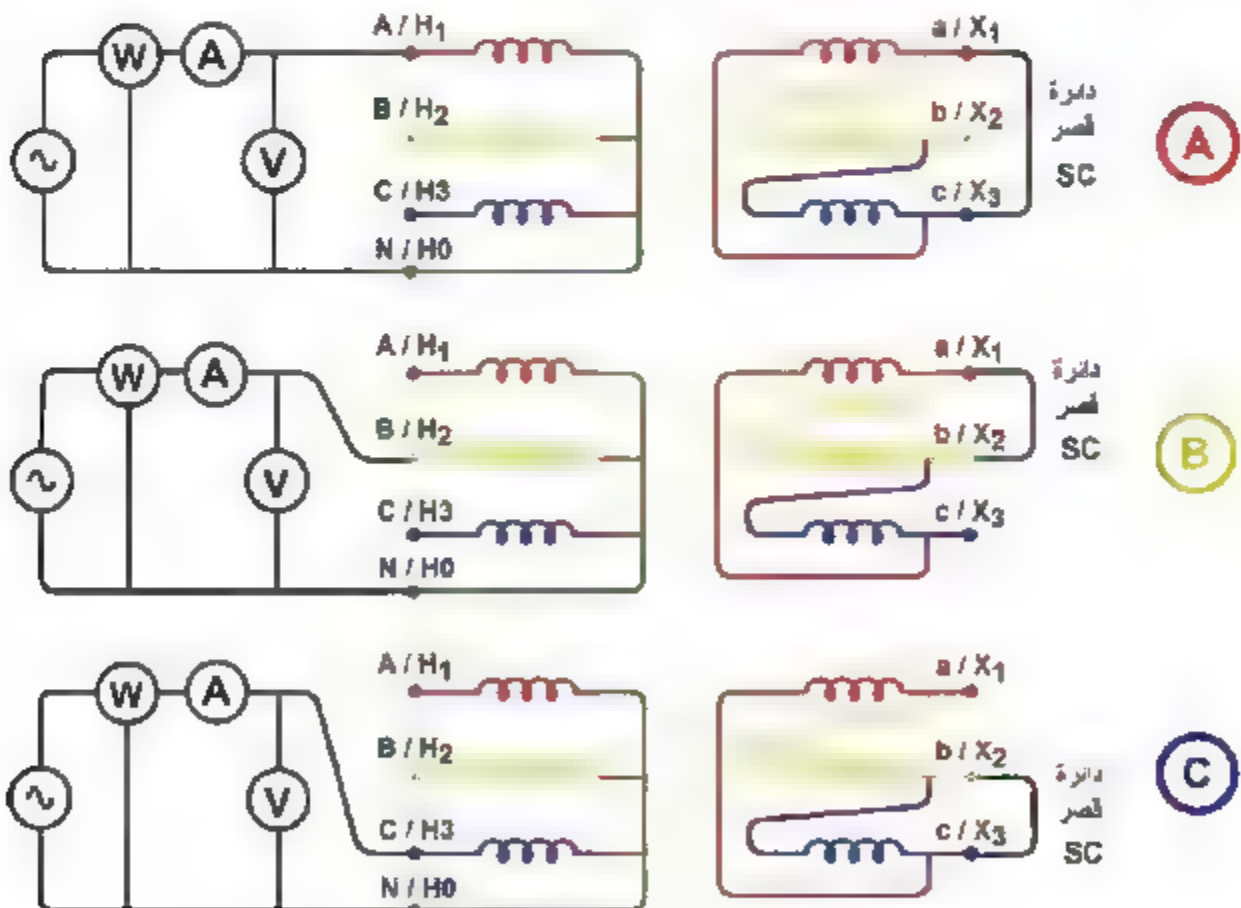
الملحق (7-3)

يُضمّن هذا الملحق توصيلات العاصمه لبعض شُغائله (Leakage Reactance) بلاسلوب
أحادي الطور (Per phase test) بعض مجموعات توصيل العجول (Connection group)

● مجموعة التوصيل YNd11 –

الجدول رقم (7-3-1)

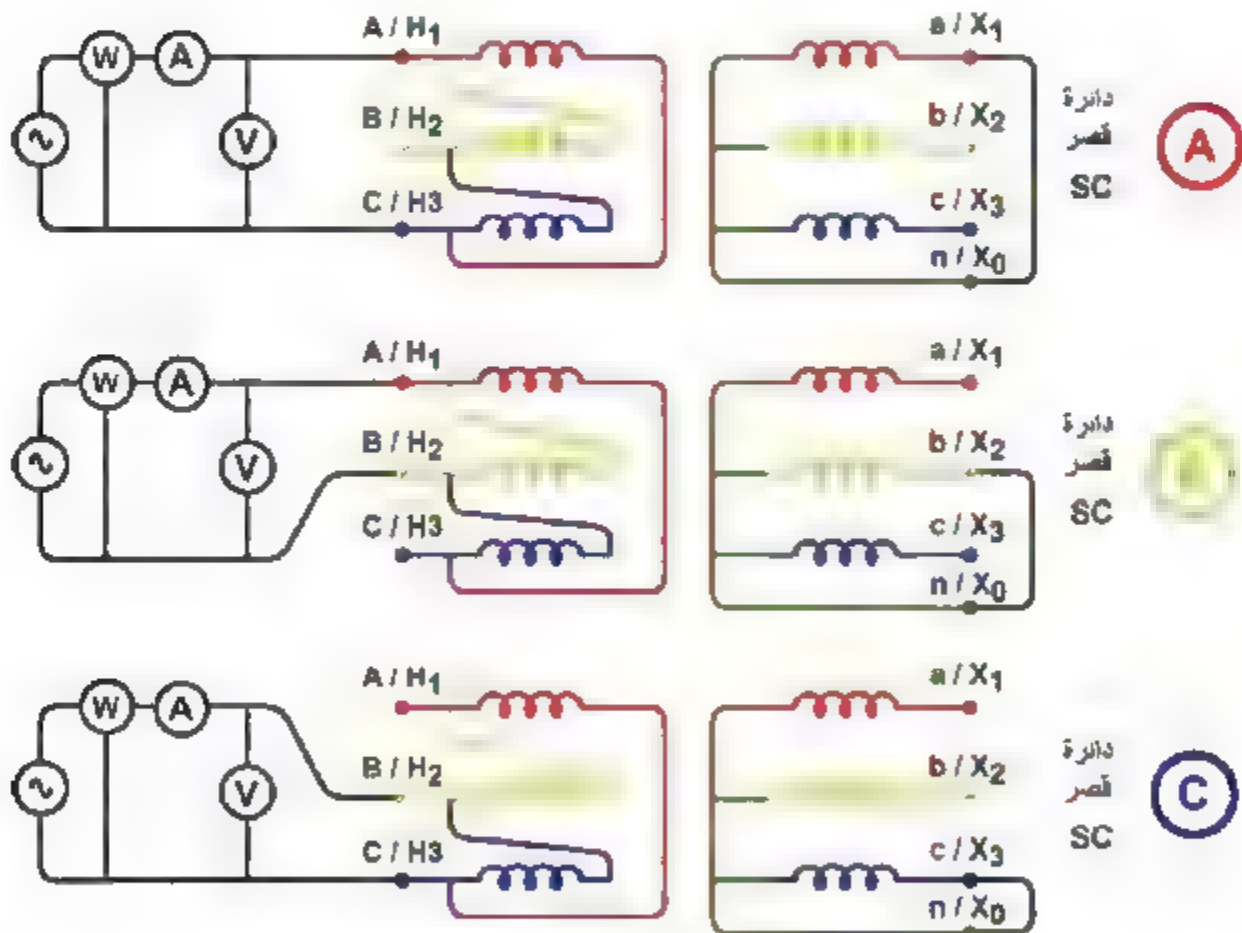
مجموعة التوصيل (YNd11)	
الأطراف التي يجب تطبيق المولتية عليها	الأطراف الواجب قصرها (SC)
H1 - H0	X1 - X3
H2 - H0	X2 - X1
H3 - H0	X3 - X2



الشكل رقم (7-3-1)

الجدول رقم (7-3-2)

مجموعة التوصيل (Dyn1)	
الأطراف التي يجب تطبيق الفولتية عليها	الأطراف الواجب قصرها (SC)
H1 - H3	X1 - X0
H2 - H1	X2 - X0
H3 - H2	X3 - X0



الشكل رقم (7-3-2)

الفصل الثامن

فحص تحليل الإستجابة الترددية

المسحي

Sweep Frequency Response Analysis
Test (SFRA)



فحص تحليل الإستجابة الترددية المَسْحي

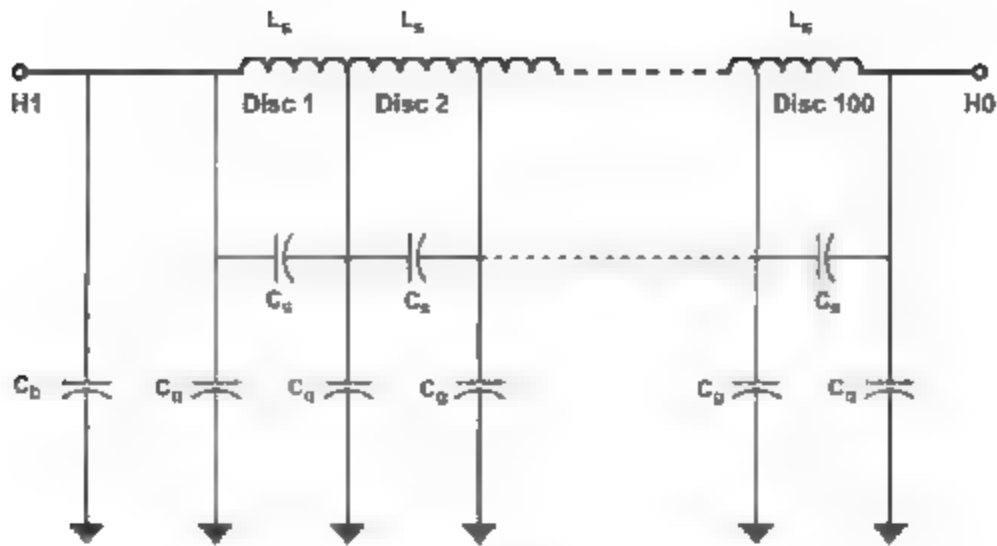
Sweep Frequency Response Analysis (SFRA)

يُعتبر فحص تحليل الإستجابة الترددية المَسْحي (SFRA) من الفحوصات التي يتم الإعتماد عليها في الكشف عن تشوهات التي تسبب على مستويات المحول بشكل أساسي والتي يصعب الكشف عنها بواسطة الفحوصات التقليدية كتحقق نسبة عند الملفات (TIR) أو مفردة الملفات (WRM) أو سار لتهدج (Excitation current)، حيث أن هذا الفحص بالإضافة لفحص قُصده التسرّب (Leakage reactance) وفحص هويته المُحصصه السحي أو الدقي (Low voltage impulse test - LVI) من الفحوصات الحساسة لتشوهات الملفات كلاً بدرجة مُعْتدّة من الحساسية بالإضافة لمجموعة من المزايا والعيوب لكل فحص من هذه الفحوصات والتي نمرها عن بعضها البعض

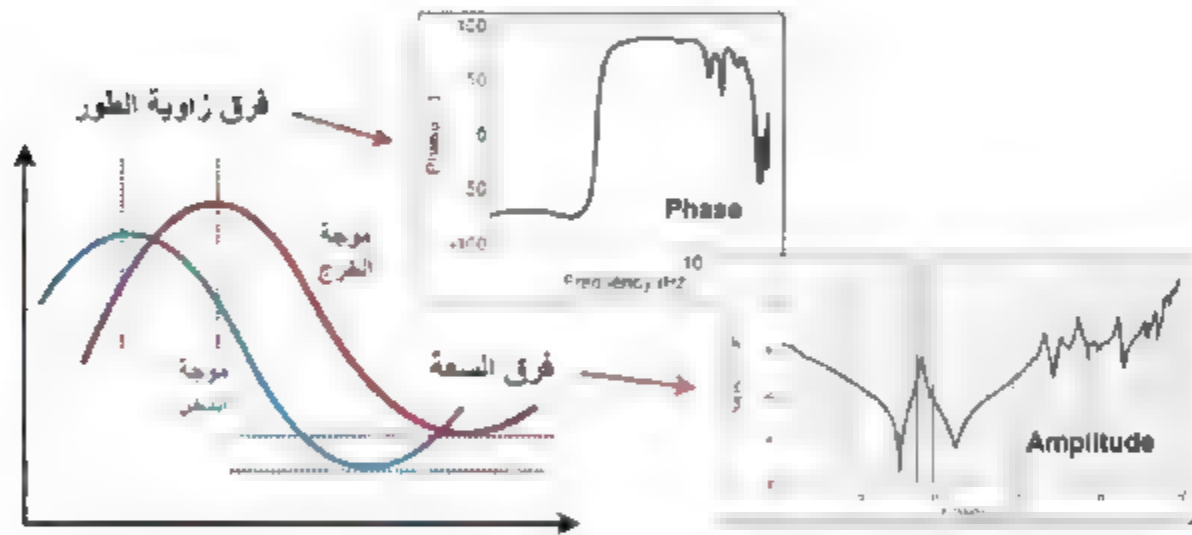
فكما هو معلوم يمكن تمثيل أو نمذجة المحول (Transformer modeling) بواسطة مجموعة من المقاومات المادية (R) كمقاومة المعادن، بالإضافة للمحث (L_p) كمحاثة المعادن أيضاً بالإضافة للمواصفات (C) كالمواصفة بين اقراص الملفات (Winding discs) و بين نُشراتها (C_p) أو بين الملفات والأجزاء المؤثرة كالمحولات الجانبي وحرارة المحول (C_g) أو بين الموصل الأوسطي المار عبره الإخترق وحرارة المحول المؤرخ (C_b) وغيره من الأجزاء التي يمكن تمثيلها بواسطة هذه المكونات كما هو مبين بالشكل (8-1)، وفي حال حدوث تغير ميكانيكي على الملفات أو القسب جديدي فإن هذه المنظومة من المقاومات والمحثات والمواصفات ستختلف وهي تخط معنى نوعاً ليزع ليعمل سلباً يعكس على نتيجة هذا الفحص ويبدأ على وجود هذا النوع من الأعطال، حيث أن الإستجابة الترددية (Frequency Response - FR) تكون دلالة الفرق بين المكونات المنظومة المحول (RLC) وأي اختلاف في هذه المكونات سيؤثر على هذه الإستجابة الترددية ففي هذا الفحص يتم تصديق موجه فولتية مُحصصه حبيبة بتردد مُتغير على أحد أطراف الملفات ويتم قياس هذه الموجه على طرف آخر لنفس الملف أو ملف آخر وفقاً لخط الفحص المُتبع، ومنه يتم مقارنة نسبة القواسم (Voltage ratio) و فرق الطور (Phase difference) موجتي فولتية المدخس (V_{in}) والمخرج (V_{out}) ويتم رسمهما بيانياً نسبة لتردد (Frequency) كما هو مبين بالشكل (8-2) وبذلك لا، فولتية المدخس أقل من قيمة المادية لإسمية للمحول فإن هذا الفحص يُعد من الفحوصات غير التدميرية (Non-destructive test).

ملحوظة (8-1): يختلفت التسميات الخاصة بالقيمة المُقسمة، فقد تمت تسميتها بنسبة المولتية (Voltage ratio) ونصاً تسمى بالسعة (Amplitude) أو المَبر (Magnitude) وعند ذكر أي من هذه التسميات في سياق الشرح فإن المقصود واحد





الشكل رقم (8-1)



الشكل رقم (8-2)

وكما ذكر سابقاً فإن سلامة أي محمول تتلخص في سلامته ثلاثه تُنظمه ناحية للمحمول وهي نظام العزل و النظام الميكانيكي والنظام الحراري، حيث أن أي فشل في أي من هذه الأنظمة سيؤدي إلى فشل المحمول بالكامل، وهذا الفحص يُمكن من الكشف عن سلامة النظام الميكانيكي وذلك بالكشف عن أي شوه أو إزاحة لمفصلات أو قلب المحمول الحديدي.

1. متى يتم إجراء هذا الفحص ولماذا؟

هناك عدة أسباب تدفعنا لإجراء هذا الفحص ومن هذه الأسباب ما هو روتيني للتأكد من سلامة المحمول أو تشخيصي لتحديد الأعطال في المحمول (وهو محال بحثنا في هذا الكتيب) أو لأسباب خاصة أخرى، وتتلخص هذه الأسباب بالآتي:

1.1 في مصنع لصبط احوده التصنيعية (Quality Control - QC) وكذلك نعتبر من فحوصات القبول التصنيعية (Factory Acceptance Test - FAT) للتأكد من سلامة المحمول ومطابقته للمصمم

قبل نقله للموقع، كما ويُصبح جزء هذا الفحص بعد فحص دائرة تضرر المصني (Short circuit test) وذلك للتأكد من سلامة المحول بعد هذا الفحص

1.2 في الموقع قبل كثرية المحول لمره الأولى (Transformer first energization) كأحد فحوصات لقبول موقعية (Site Acceptance Test - SAT) للتأكد من سلامة المحول بعد نقله وتركيبه في الموقع.

1.3 قبل كثرية المحول (Transformer energization) بعد نقل محول من مكان لآخر

1.4 بشكل روتيني (Routine test) وذلك لكشف عن وضع المحول الحالي وإستخدام نتيجة هذا لفحص كمرجع (Reference value)

1.5 أبحاث نمذجة الأنظمة (System Modeling)، حيث بواسطة هذا الفحص يُمكن إستخراج قيم بعض المُركبات اللازمة لنمذجة دائرة المحول وغيره من الأنظمة.

1.6 بحث الأعطال داخل المحول (Fault detection - Diagnostic test)، وهو ما سيتم تناوله في هذا الفصل

2. الدوافع التشخيصية لعمل هذا الفحص وما هي الأعطال التي يتم الكشف عنها

كما هو معلوم أن هذا الفحص يهدف للكشف عن أي تشوه أو إزاحة للملفات ولتلف الحديد في المحول، لذلك عادةً ما يتم إجراء فحص هذا المحول بهدف تشخيصه في حال تعرض المحول لصدمات أو أحداث قد تؤدي لزيادة الإجهاد الميكانيكي الواقع على ملفات قلب المحول وما يرتب عليها من أعطال ميكانيكية أو كهربائية للمحول، وعلى سبيل المثال لا يحصر مُمكن إيجاد الأمور التالية

- تعرض المحول لإجهاد ميكانيكي ناتج عن عطل كهربائي مثل الأعطال لأرضيه (Earth faults) أو أعطال الدمر (Short circuit) أو صدمات البرق (Lightning) وما ينتج عنها من تيارات ذات قيم مُرتفعة، أو تعرض المحول لتيارات عالية (تدفق) مُرتفعة (High inrush currents)
- تعرض المحول لفحص قصري (Trip) نتيجة تفعيل مُرحل Buchholz relay) أو مُرحل ارتفاع الضغط المفاجئ (Sudden pressure relay) أو غيره من الحماية الغير رتيبة
- ارتفاع درجة حرارة المحول أو ظهور قيم مُرتفعة لنسب الغازات العذبة للإحتراق بدائية في زيت المحول (Dissolved combustible gas)
- قراءات غير جيدة أجهزة تسجيل الصدمات (Impact recorder) حيث أن هذه الأجهزة يتم تثبيتها على جسم المحول أثناء نقله للتأكد من عدم تعرضه للصدمات فوق الحدود المسموح بها كتعرضه لصدمات ميكانيكية كبيرة كالسقوط أثناء عملية النقل
- اهتزازات ناتجة عن زلازل أو غيرها من الكوارث الطبيعية والتي قد تُحقق ضرراً ميكانيكياً للمحول
- في حال الحصول على نتائج فحوصات غير مُرتبطة خاصة بفحص موسعة (Capacitance) وفحص مُعدله لسرور (Leakage reactance) وفحص تيار التهييج (Excitation current)

ومن الأعطال التي يتم الكشف عنها من خلال هذا الفحص.

- وجود تشوه أو إزاحة للملفات ككل (Bulk winding deformation or displacement)
- وجود تشوه في ملف من الحلقات بشكل محوري أو شعاعي/قشري (Coil axial or radial deformation)
- وجود تشوه أو إزاحة للقلب الحديدي (Core deformation or displacement)
- وجود قطع في ملفات المحول (Open circuit)
- وجود قصر (Short circuit) بين لفات الحلقات المخلعة من المحول أو بين لفات من نفس الملف
- وجود كسر في دعائم التثبيت الداخلية أدنى لحدوث تشوه في الملفات والعزل لحدوث
- وجود مشكلة في تأريض القلب الحديدي أو فقدان التأريض.

فهي حال تعرض المحول لصدمة أو لإهتزاز أو لحدوث أثناء العمل فإنه يسهل تصور السبب الذي أدى لتشوه نسبة الحلقات الكهربائية، أما فيما يخص التشوه الناتج عن ارتفاع اسرعة كبريت لنداء (Inrush currents) وتيارات الفط (Fault currents) ولتجنب آتية حدوثه يمكن الرجوع للملحق (7-2) من الفصل السابق.

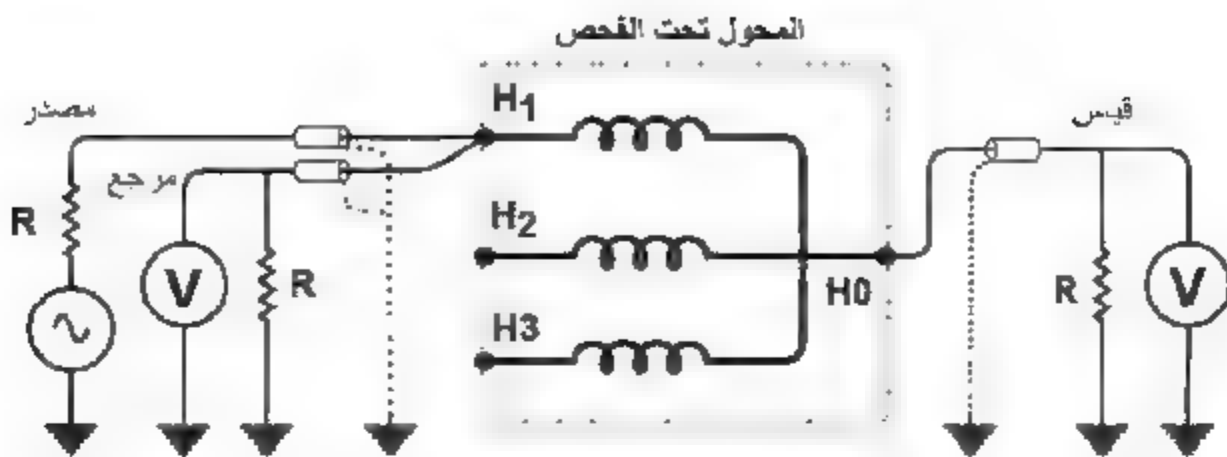
3. فلسفة الفحص

يتم تصميم المحولات بحيث تكون قادرة على تحمل الإجهاد الميكانيكي المؤثر عليها أثناء عملها أو أثناء عملها في الظروف الطبيعية أو غير الطبيعية كالأعطال أو الحالات العابرة (Transients)، ولكن قد يربط هذا الإجهاد عن الحدود المسموح بها خاصة في حالات الأعطال ذات السرب الكبيرة أو نتيجة إضعاف لصدة العازل وتقدمها مما يؤدي لحدوث تشوه وتلف للملفات أو القلب الحديدي، في هذه الحالة فإن المنظومة المكونة لها، المحو، والتي تمثل مجموعة من المقومات والمكونات والموسعات (RLC) ستختلف وفي نمط معين بناءً على نوع العطل، مما ينعكس على نتيجة هذا الفحص وبديل على وجود هذا النوع من الأعطال حيث أن الاستجابة الترددية (Frequency Response - FR) تكون بدلالة (Function of) هذه المركبات المكونة للمنظومة المحول (RLC)، لذلك فإنه يتم اللجوء لعمل هذا الفحص بدلالة هذه المجموعة من الفحوصات الأخرى ذات أساسه هذا النوع من الأعطال كالفحص تفاعله التسرب (Leakage reactance) وفحص مقاومة المحفصة، والتي وانتهى (Low voltage impulse test - LVI) وفحص تيار التهييج (Excitation current) وفحص الاستجابة الترددية لتصبغات لشاردة (Frequency response of stray losses - FRSL) بالإضافة لفحص موسعة (Capacitance)، الحدود (1-8) بين مقاربة بين هذه الفحوصات وفقاً لما ورد في الدراسة الصادرة عن المجلس الدولي لأنظمة الكهرباء لكثرة [CIGRE Mechanical condition assessment of transformer windings using frequency response analysis (FRA) 342].

لجدول رقم (1-8)

المختص	المزايا	العيوب
فحص تيار التحفيز Excitation current test	يحتاج جهاز فحص بسيط نسبياً. يمكنه كشف أعطال قلب الحديدي المحول	غير حساس لتشوه الملفات. سعة الفحص تتأثر بقوة المحيط به حقله
فحص مقاومته التسرب Leakage reactance test	يمكن الفحص بطريقة مستديرة المواضحة في معاير فحص دائرة "القسم" سعة المرحلية لفحص موجود عند لوحة بيانات المحول للبيانات المقارنة	غير بسيط في قبة مقدرة التسرب قد يكون سببه عطل كبير غير حساس لجميع أنماط تشوه المعطل (جيد في كشف تشوه الملفات الشعاعي/القطري Radial)
فحص تحديد الإستجابة الترددية للضواغط المفاوذة Freq. response of stray losses test - FRSL	كبر حساسية من فحص تم على التسرب. يكن يكون الوحيد القادر على كشف دائرة القصر بين الموصلات المتوازية في هبات المحول. قد يكون أكثر حساسية من فحص تم على التسرب جهاز الفحص القياسي متوفر.	- لا يستخدم بشكل قياسي في المنشآت الصناعية.
فحص مواسعة الملفات Winding capacitance test	غير حساس لجميع أنماط تشوه المعطل (جيد في كشف تشوه الملفات الشعاعي/القطري Radial) قد لا يمكن قياس مواسعة المطلوب خاصة عند فحص المحولات التلقائية (Autotransformers) غير بسيط في قبة المواسعة قد يكون سببه عطل كبير. نتيجة الفحص تتأثر بدرجة الحرارة	- فحص مواسعة الملفات
فحص العوشية المنخفضة منخفض أو العوشية Low voltage impulse test - LVI	- معترف بحساسيته الكبيرة في الكشف عن تشوه الملفات. يحتاج جهاز فحص متخصص. صعوبة تحليل نتائجه. صعوبة تكرار الفحص بنفس الحساسية	- فحص العوشية المنخفضة
فحص تحليل الاستجابة الترددية العشوائية Sweep frequency response analysis test - FRA	يمكن تكرار الفحص بنفس الحساسية شكل فصل من فحص (LVI). يمكن تحليل نتائجه بشكل أسهل من فحص (LVI). عدد مستخدمين متزايد	- يمكن تكرار الفحص بنفس الحساسية شكل فصل من فحص (LVI). يمكن تحليل نتائجه بشكل أسهل من فحص (LVI). عدد مستخدمين متزايد

دارجوع لفلسفة الفحص فيه في هذا الفحص يتم تطبيق موجة فولتية، النسبة لآخر المحول (المؤرض) على أحد أطراف ملفات المحول، بحيث يكون هذا الموجة جيديه ذات مقدار صغير قدره (10Vp-p) ومتغيره التردد (20Hz - 2MHz) حسب معايير اللجنة الكهرومغناطيسية الدولية [IEC, 60076-18 2012]، و من ثم يتم قياس هذه الفولتية المطلوبة لتكون بمثابة مرجعية (Reference) وقياس فولتية المحرر ليكون موجة استجابة (Response) كما يظهر في الشكل (3-8) الذي يوضح دائرة فحص محول ذو سطة كويل محورية (Coaxial cables).

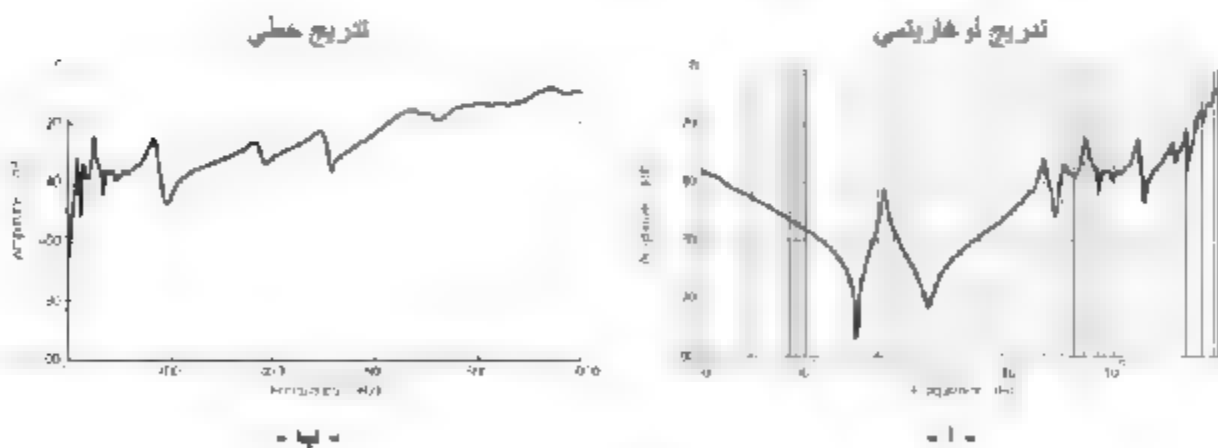


الشكل رقم (8-3)

بعد ذلك يتم احتساب نسبة السعة (Amplitude ratio) لموحي الموصلة (V_{out}/V_{in}) وبأن هذه النسبة تعبر عن مدى واسع من القيم فإنه يتم احتساب قيمة سحابة الموصلة النسبية بالـ (dB) بواسطة المعادلة (8.1) التالية:

$$\text{Relative Voltage Response} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (8.1)$$

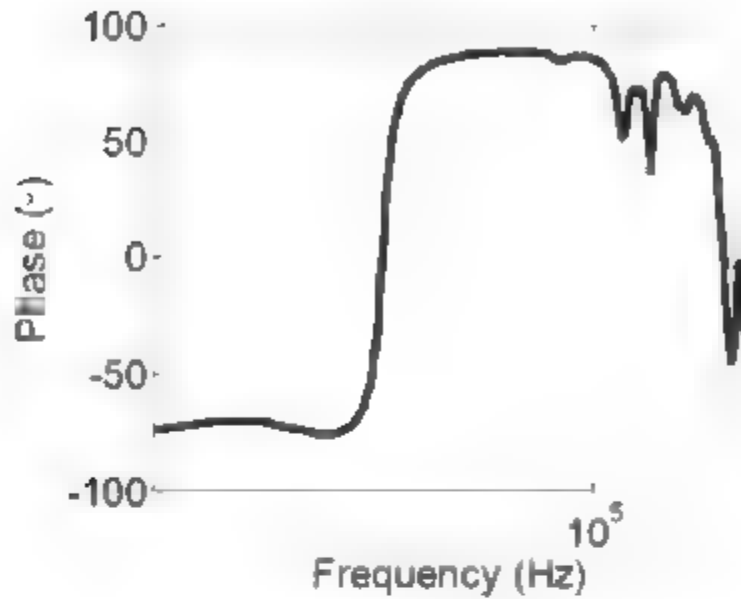
ومن ثم تم رسم قيم إسقاطية قوائم السعة (dB) بدلالة التردد (Frequency) بحيث يمكن رسم هذه القيم بواسطة مدرج تردد لوغاريتمي (Logarithmic Scale) كما يظهر في الشكل (8-4) (أ) وهو الأكثر إستخداماً، وهو مدرج تردد خطي (Linear scale) كما يظهر في الشكل (8-4) (ب) الواردة في المعيار لصادر عن لجنة الكهرومغناطيسية الدولية [IEC, 60076-18 20012]



الشكل رقم (8-4)

كما ويمكن أيضاً إيجاد فرق الطور بين موحي العوللية المدخل والمخرج (Phase difference) بحيث يتم حساب قيمة الفرق في الطور بالدرجة (°) بواسطة المعادلة (8.2)، ومن ثم يتم رسمها بدلالة تردد كما يظهر في الشكل (8-5)

$$\text{Phase Difference} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (8.2)$$



الشكل رقم (8-5)

- كيف يدل هذا المحص على وجود تشوه أو إزاحة في الملفات بالإضافة إلى إعطال القلب الحديدي للمحول كفقن التآريض مثلاً:

من سبق يُمكن ملاحظته أنه في حال حدوث عطل ميكانيكي للمحصر وقلب حديدي قوي، ذلك سيؤثر على قيم المركبات، فكونه المحول (RLC) وانعكاسه بالشكل (8-1) الذي يوضح له أثره الحفافة المُبسطة للمحول (Cascaded π sections)، وكما هو معلوم أن أي اختلاف في قيمة هذه العناصر (RLC) من شأنه تأثير على نتيجة هذا المحصر وهد بدوره يُفسر الإعتماد على هذا المحصر في الكشف عن تشوه الصفات والقلب الحديدي للمحول.

ولذلك أفهم سيقوم بعرض حالات لأعطال تمت معالجتها، مجموعة من المحولات وتنبع الاختلاف الذي يطرأ على نتيجة فحص تحليل لإستجابة الترددية المسحي (SFRA) كما ورد في إشره علمية IEEE

Transformer diagnostic testing by frequency response analysis

- الحالة الأولى:

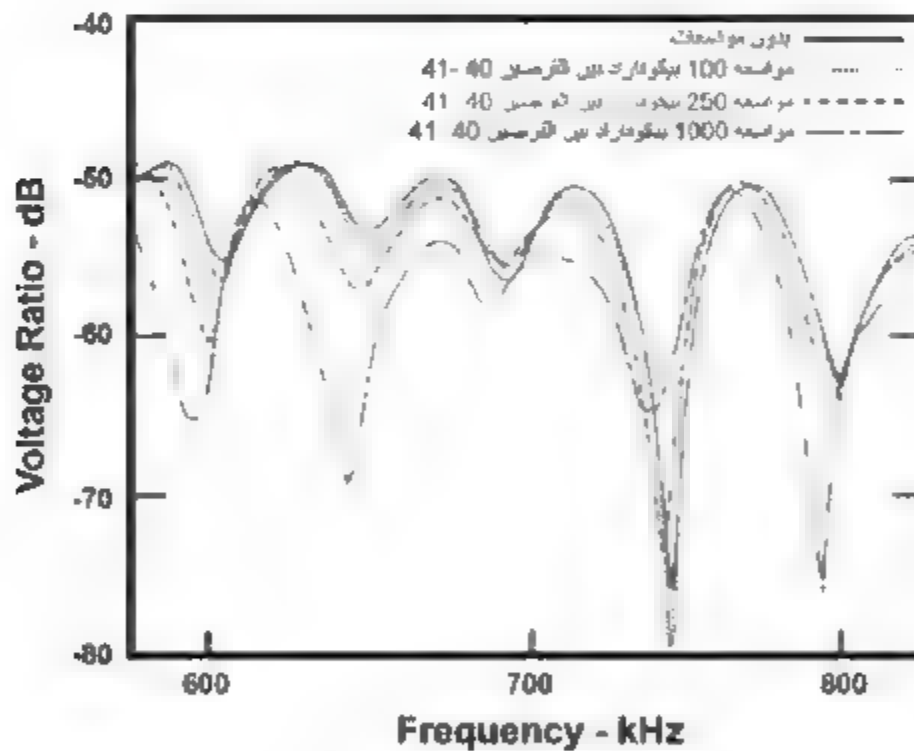
بإختلاف الموسعة بين أقراص ملفات المحول (Disc to Disc capacitance - C_d) أو ما يُسمى بـ (Inter-disc capacitance) والتي قد تكون ناتج عن قوى ميكانيكية ذات لإختلاف بمسافة بين هادين الملفين مما أثر على قيمه الموسعة بينهما وللمحاكاة هذ النوع من الأعطال يتم إضافة موسعات بنظم مخسفة (100, 250, and 1000 pF) سكو تاراد بين قُربين من ملفات محول 8 معة (8 MVA) ميجا فولت أمبير كما هو مبين بالشكل (8-6) الذي ورد في المصدر [79]

مواسعة
Capacitor



الشكل رقم (8-6)

الشكل (8-7) ورد في المصنوع [79] يبين الاختلاف في نتيجة هذا الفحص وفقاً بقيمة المواسعة المضافة على ملفات المحول

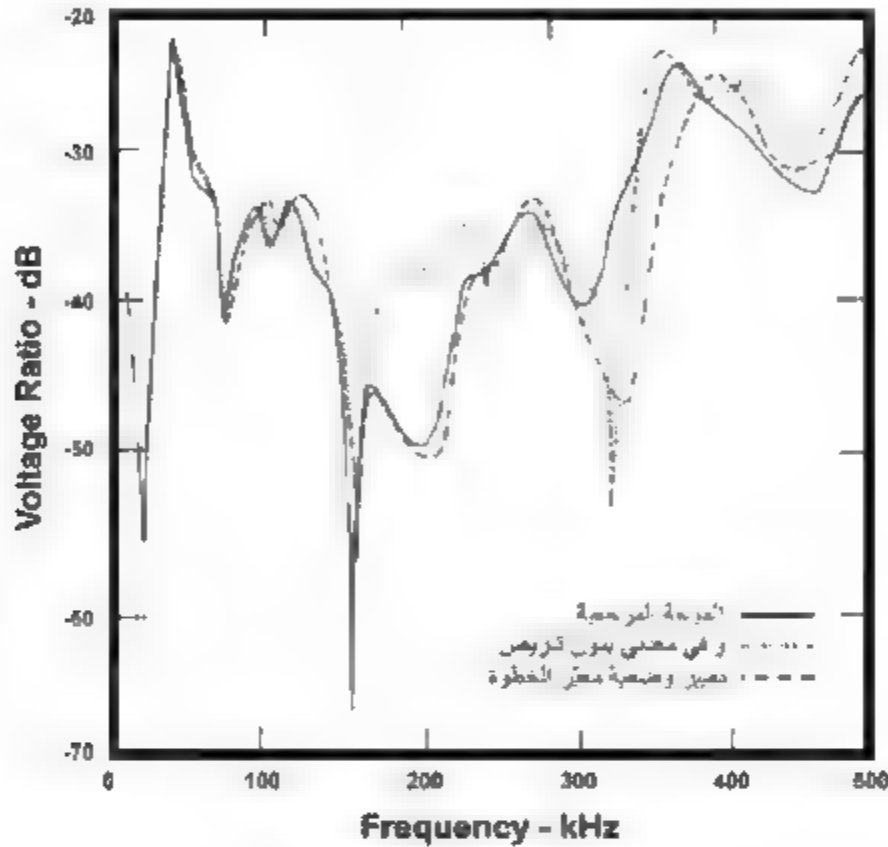


الشكل رقم (8-7)

• الحالة الثانية

اختلاف لمواسعة بين ملفات المحول و القلب أو الأرضي (Winding to ground capacitance - C_g) أو ما يسمى بالـ (Inter-winding capacitance) والتي قد تكون ناتجة عن فقدان تأريض القلب أو فقدان تأريض أو في معلمي (Metallic Shield) الموجود بين ملفات المحول لارتفاعه والمنخفضة للمحول، ولمحاكاة هذا النوع من الأعطال تم إزالة التأريض الخاص بالـ (Metallic Shield) للمحول بالموصلة

لنأيه (GSUT, 550MVA, 230/22 kV, Y/Δ) و إجراء فحص (SFRA) وكاب السجحه كم هو مئس دالشكل (8-8) اواردا في المصدر [79]، بحيث ئمكن ملاحظه تأئر إءلاف اموسعة (C_g) عىاء التردد الأكر من (200 kHz) كئلوهرتز



الشكل رقم (8-8)

• الحالة الثالثة.

إءلاف لمءائه لءصءة بالمئسات (L_s - Winding inductance) و الذى قد ئكون ناءء عن اعطاء أو عن ءعئر ومئسئى مئسئى الخطوة (Tap Changer)، ولمءاكاه ءمئر ءعئر مءائه المءاءات عىء شءءة ءءص (SFRA) ئم ءعئر ومئسئى مئسئى الخطوة (Tap changer) عىء طور و ءء لمءول ءو سءءه (550 MVA) مءءا ءواب امئر و إجراء ءءص (SFRA) وكاب المئسئى كم هو مئس دالشكل (8-8)، بحيث ئمكن ملاحظه تأئر إءلاف مءائه المءاءات (L_s) ناءء عن ءعئر ومئسئى مئسئى الخطوة (Tap changer) عىء لردداء الأكر من (200 kHz) كئلوهرتز

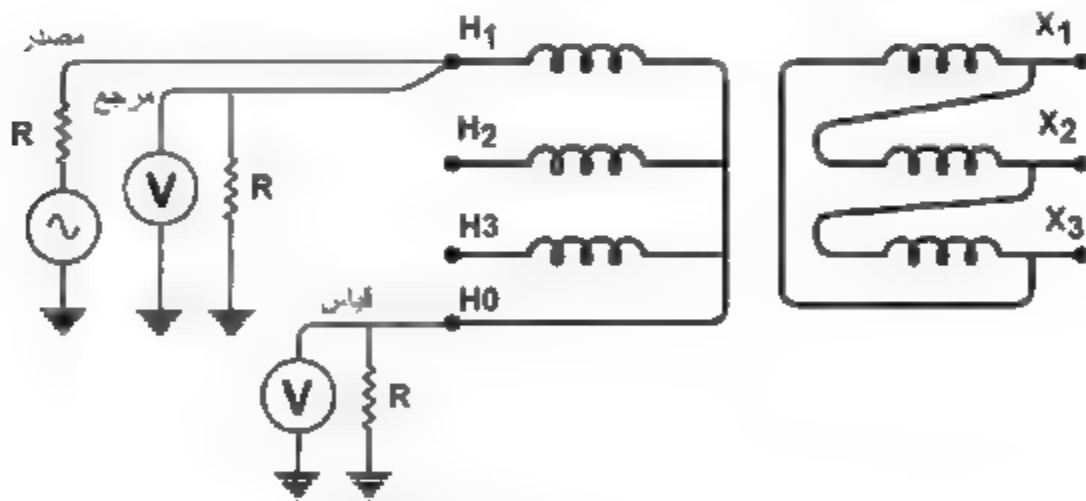
مء سبب ئمكن ملاحظه ءمئسئى هءا المءص فى الكشء عن الأعطاء، ئى قد ءصئب المءاءات أو القابء الءءئبئى للمءول والئى مؤءىء لءعئر المئسئى لء ءلبء للمءول وما ىءءء عئها من ءعئر لمئطومءه اعءصءر المءكؤءة للمءول.

4. أساليب الفحص

هناك عدة توصيلات بين جهاز الفحص والمحول المراد فحصه يمكن من خلالها إجراء هذا الفحص وذلك وفقاً للأسلوب مُتبع، حيث وبالرجوع للمعايير العالمية الصادرة عن أشهر المنظمات كالمجلس الدولي للأظمة الكهربائية الكيبره (GIGRE) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) ومعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) فيه تم اعتماد أربعة أساليب رئيسية لإجراء هذا الفحص كالآتي

4.1 الأسلوب الأول: End to End Open Circuit

يُعد إجراء الفحص بهذا الأسلوب الأكثر شيوعاً وخصوصاً به حسب معايير اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012] بحيث يمكن تطبيق هذا الأسلوب على ملفات الفولتية المرتفعة (HV) أو المنخفضة (LV) للمحول سواء كانت موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) أو على شكل نجمة (Star - Y). وفي هذا الأسلوب يتم تطبيق موجة الفولتية (Input) على أحد أطراف الملف (على صورة واحد) ويتم قياس الموجة (Output) على أطراف الآخر (ملف على نفس الصورة)، كما ويُشار إليه في حال كانت الملفات موصولة على شكل نجمة (Star - Y) فإنه يمكن تطبيق الفولتية على أحد الأطراف لأنشور (H1 or H2 or H3) وقياس عن طريق طرف مقدة العادل (H0) والعكس صحيح أيضاً حيث أنهما سيعطيان نفس النتيجة ولكن يجب ذكر أطراف الفحص والقياس في مسميات الفحص كما وتُصح باستخدام نفس توصيلة الفحوصات السابقة

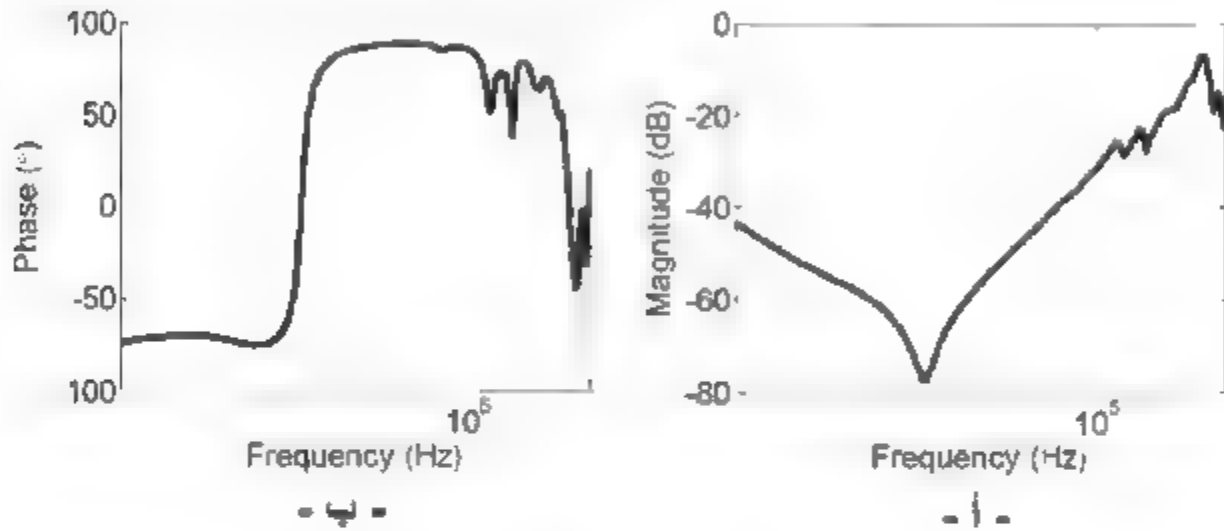


الشكل رقم (8-9)

في مصطلح دائرة مفتوحة (Open circuit) يُراد في اسم هذا الأسلوب يشير إلى ترك أطراف الملفات لمحول لدونه موصولة، فمثلاً لو تم إجراء هذا الفحص على أحد أطراف ملفات الفولتية المرتفعة للمحول فيجب ترك أطراف ملفات الفولتية المنخفضة مفتوحة (Open circuit) أو (Floating) وكذلك الحال لأطراف باقي أطوار ملفات الفولتية المرتفعة التي لا يتم تطبيق الفحص عليها كالأطراف (H2 و H1) في الشكل (8-9) السابق، وهذا بدوره يُصني شبه بين توصيلة الفحص بهذا الأسلوب وتوصيلة فحص تدر للهبج (Excitation current test) ويُفسر هيمنة العيب الحثثي على نتيجته بفحص خاصه عند الترددات المنخفضة كما سيتم شرحه لاحقاً

لشكل [(8-10) (أ)] يُبين مثال على سحبة فحص بمودحية (Typical) بهذا الأسلوب (Open circuit) حيث يُشير الجزء الأول من الرسم عند ترددات المنخفضة (أص من 20 كيلوهرتز تقريباً) إلى حدوث ظاهرة الرنين المعكسي (Antiresonance) والناجمة عن تأثير المحاثة الحثية المعطية مُضافاً إليها معدنة التسرب ذات تدرج يحقن في رسمه (Amplitude) عن هذه الترددات، بعد ذلك تبدأ الرسم بالارتفاع نتيجة لتأثير مواسعة الملفات.

وكذلك يُمكن الملاحظة من الشكل [(8-10) (ب)] الخاص بفرق الطور (Phase) انتقال الـ 90° من 90° إلى -90° وذلك لنفس السبب المذكور أعلاه وهو تأثير المحاثة المعطية للقلب بالعمق ثم بعد ذلك يبدأ تأثير مواسعة الملفات

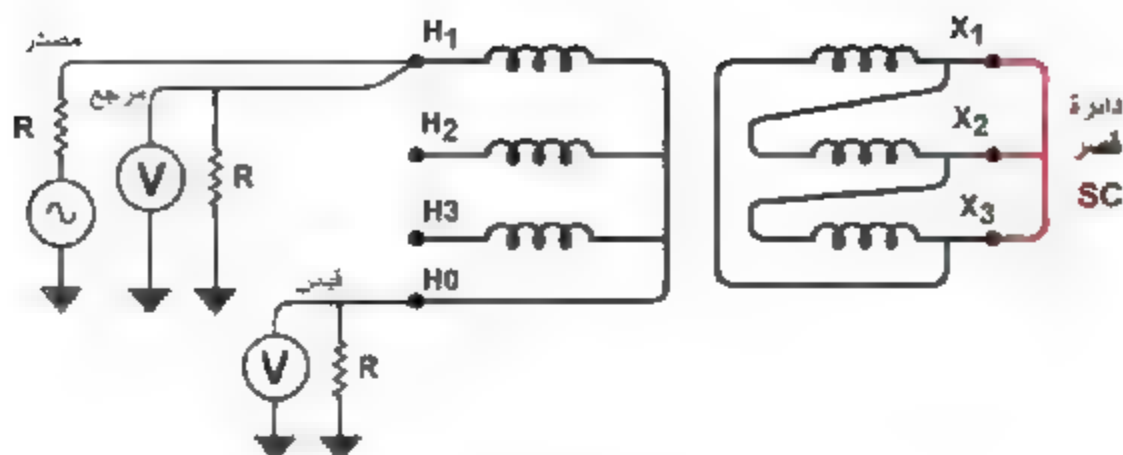


الشكل رقم (8-10)

وإذا تم فحص بهذا الأسلوب يتم على ضوء واحد فقط من أطوار المحول، فإنه يستلزم إجراء ستة فحوصات تعطي كامل بيانات المحول للمحولات ثلاثية الفطور ثمانية الملفات على سدين المثال وسبعة فحوصات للمحولات ثلاثية الطور ثلاثية الملفات.

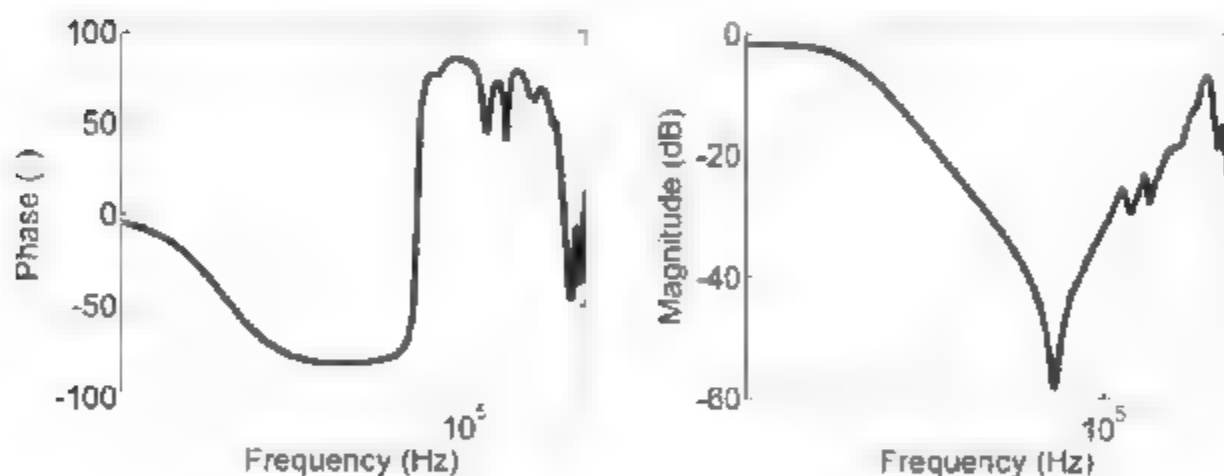
4.2 الأسلوب الثاني: End to End Short Circuit

لفحص بهذا الأسلوب مُشابه لما تم شرحه في الأسلوب السابق، ولكن يكمن الاختلاف بينهما في وصعية أطراف ملفات محول ثنائيه حيث أنها كانت مفتوحة (Floating) في الأسلوب السابق أما في هذا الأسلوب، فإنه يتم قصها (Short circuited) كما هو مبين في الشكل (8-11)، ويُمكن قصها بترصيصها قصرها أو تركها مقصورة فقط دون تأريضها (Floating)، ومن الموصية يُمكن ملاحظة الشيء بين وبين بطريقتي لفحص مُع على "تسرب" (Leakage reactance test) أو فحص شعافقه قصير (Short circuit impedance test)



الشكل رقم (8-11)

الشكل (8-12) يُبين مثال على نتيجة فحص نموذجية (Typical) بهذا الأسلوب (Short circuit) حيث أن توصية الفحص بهذا الأسلوب كفيلة بإزالة تأثير المحاطة المغناطيسية للقلب الحديدي والإبقاء فقط على تأثير محاطة التسرب وهذا بدوره يُفسر عدم انخفاض رتبة السعة (Amplitude) في نتائجها كما كان الحال في تعويرها للأسلوب السابق (Open circuit). كما ويمكن الاستفادة من هذا الأسلوب في حال أردنا التأكد من أن عطل محمول عليه القلب الحديدي لم يُجره آخره حيث أنه واسعه هذا الأسلوب يمكن تجنب تأثير هذا القلب الحديدي لترددات منخفضة (تقل من 20 كيلوهرتز تقريباً)، وكذا في حال أردنا تجنب تأثير مغناطيسية القلب المتبقية على نتيجة الفحص.

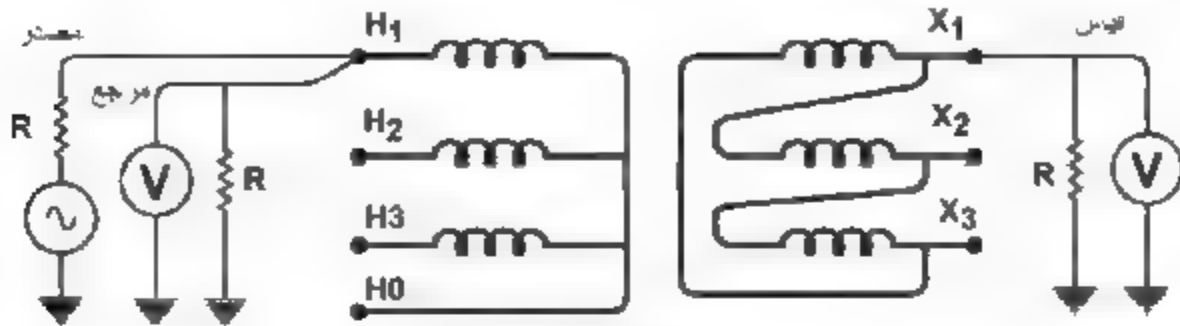


الشكل رقم (8-12)

4.3 الأسلوب الثالث: Capacitive inter-winding

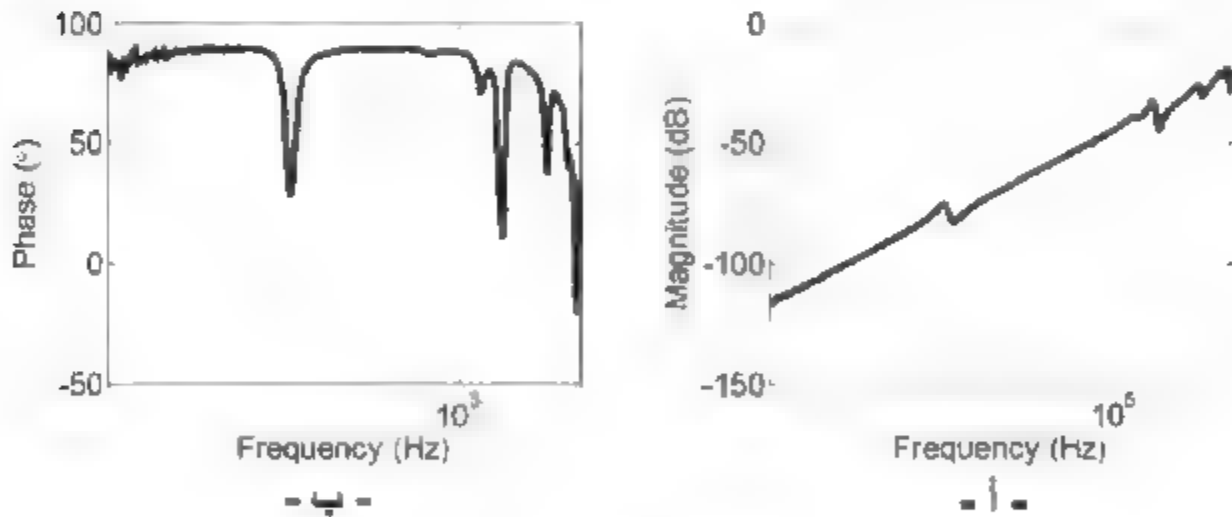
يمكن تطبيق هذا الأسلوب على ملفات لفوائية المرتفعة (HV) أو المنخفضة (LV) بمحول سواء كانت موصولة على شكل مثلث (Delta - Δ) أو على شكل نجمة (Star - Y) مع عدم إمكانية تطبيقه على المحولات المتكاملة (Autotransformers)، بحيث يتم تطبيق موجة الجهد (Input) على أحد أطراف طور من أطوار الممدد (المتدني) ويتم قياس الموجة (Output) على أحد أطراف نفس الطور من المصعد

لثانوية مع الإبقاء على جميع أطراف الملفات حثثية مفتوحة (Open circuit) أو (Floating) كما هو مبين في الشكل (8-13)



الشكل رقم (8-13)

في هذا الأسلوب تثار نتيجة الفحص بالمواصفة بين الملفات (Inter-winding capacitance) بحيث يمكن الملاحظة في شكل (8-14) والذي يُعش نتجه فحص نموذجية (Typical) أن قيمة الإستجابة (response) أو كما تُسمى رسمه لسعة (Amplitude) تكون منخفضة بالبدية نتيجة لقيمة المعاودة المرتفعة (High Impedance) والتي تكون فعاليتها سعوية (Capacitive)، فكما يظهر الشكل (8-14) (أ) يمكن ملاحظة الارتفاع في رسمه السعة (Amplitude) مع التردد وكذلك عالية رسمه بطور (Phase) الظاهرة في شكل (8-14) (ب) ذات قيمة موجبة (Positive) مع اختلاف التردد وهذا يؤكد أن المعاودة المسيطرة على نتيجة الفحص غالبيتها سعوية (Capacitive)

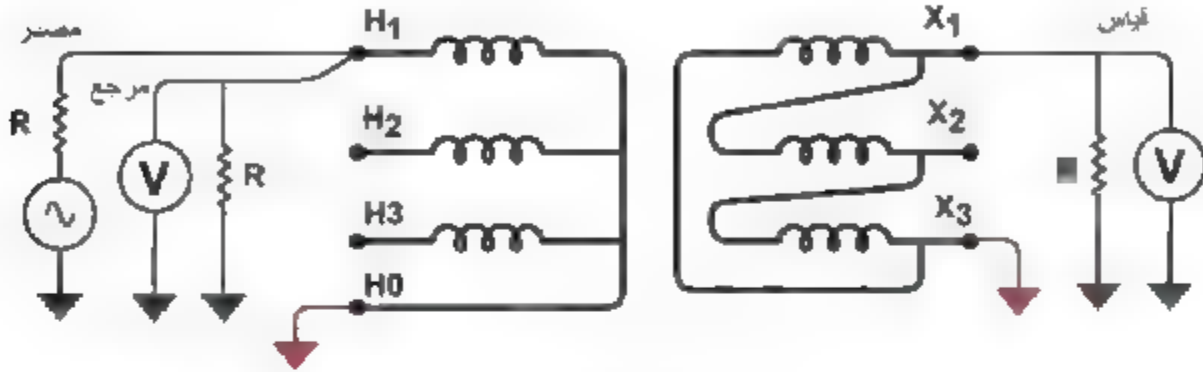


الشكل رقم (8-14)

وبما أن القيمة المسيطرة على نتيجة الفحص هي الحواسعة بين الملفات (Inter-winding capacitance) فإن هذا الفحص ذو حساسية مرتفعة في الكشف عن وجود شوه شعاعي/قشري للملفات (Winding radial deformation). ولكن يبقى هذا الأسلوب غير مُفصل لتعويضه بحسب نتجه

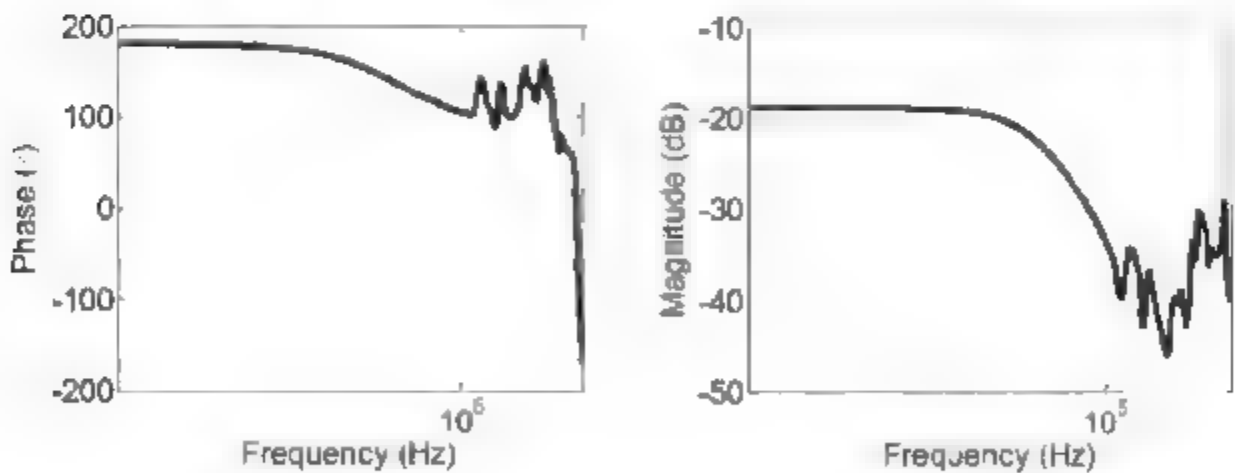
4.4 الأسلوب الرابع: Inductive inter-winding

في هذا الأسلوب يتم تطبيق موجة العولسة (Input) على أحد طرفي طور من أطوار الملف لإسباني مع مرصه تأريض طرفه الآخر ويتم قياس الموجة (output) على أحد طرفي نفس الطور من ملفات الثانوية مع مرصه تأريض طرف الطور الآخر وإنشاء سبي جميع أطراف الملفات المُتنبسة مفتوحة (Open circuit) أو (Floating) كما هو مُبين في الشكل (8-15)



الشكل رقم (8-15)

وبهدف تحديد هذا الأسلوب لقياس نسبة العولسة المحوّل (Transformer voltage ratio) ويُمكن ملاحظه توصيله الفحص الشبيه بتوصيله فحص نسبة العولسة أحادي الطور (Per phase TVR) فكما يظهر في الشكل (8-16) والتي تُمَثّل نتيجة فحص نموذجية (Typical) أن قيمه الإستجابة (response) أو رسمه (spectrum) (Amplitude) عند الترددات المنخفضة تُعبر عن نسبة العولسية (Voltage ratio) بين المصدات المنخفضة، أما الترددات المرتفعة فيمكن همالها كونها لا تُعتبر عن أنه نتائج مفيدة



الشكل رقم (8-16)

عند إجراء هذا الفحص على المحوّلث ثلاثة الطور ثنائية الملفات (Three phase two winding) فإنه يُمكن إجراء 15 فحص كما هو مبين بالجدول (8-1) والذي يُبَيّن الأطر في التي يجب تطبيق العولسية عليها وأيضاً التي يجب القياس عليها للمحوّلث ذات مجموعته التوصيل التي يكون فيها مصدات العولسية المنخفضة متأخرة عن مصدات العولسية الارتفاع بمقدار (30°) مثل (Dyn1) وغيرها من التوصيلات، حيث

أن إيجنار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57.149-2012] يوصي بإجراء 9 فحوصات منها على الأقل كما هو مبين بالجدول التالي

الجدول رقم (8-1)

Y - Δ LV lag HV by 30°	Δ - Y LV lag HV by 30°	رقم الفحص	أسلوب الفحص
H1 - H0	H1 - H3	1	End to End OC (HV Side)
H2 - H0	H2 - H1	2	بقي لأصرف غير المذكورة سلفي
H3 - H0	H3 - H2	3	مفتوحة
X1 - X2	X1 - X0	4	End to End OC (LV Side)
X2 - X3	X2 - X0	5	بقي لأصرف غير المذكورة سلفي
X3 - X1	X3 - X0	6	مفتوحة
H1 - H0	H1 - H3	7	End to End SC (HV Side)
H2 - H0	H2 - H1	8	أصراف منفردة، فولتية المنخفضة
H3 - H0	H3 - H2	9	نحت، قصيرها
H1 - X1	H1 - X1	10	Capacitive inter-winding
H2 - X2	H2 - X2	11	بقي لأصرف، غير المذكورة سلفي
H3 - X3	H3 - X3	12	مفتوحة
H1 - X1	H1 - X1	13	Capacitive inter-winding
H2 - X2	H2 - X2	14	تربص أصرف، الأطوار تحت الفحص
H3 - X3	H3 - X3	15	ود في لأدوار، تنبي مفتوحة

ملحوظة (8-2): عادةً لتحديد نوع وعدد الفحوصات التي يجب إجراؤها للمحول، يمكن الاعتماد على الفحص المرجعي الذي سيتم المقارنة به وإجراء نفس لفحوصات لعديد المقارنة.



أما عند يخص المحولات ثلاثية الطور ثلاثة الملفات (Three phase tertiary winding) ودي مجموعات التوصيل للمحولات ثلاثية الطور ثنائية الملف يمكن إيجاد الملحق (8-3) والذي يضم حدود لفحوصات التي يمكن إجراؤها لهذا النوع من المحولات وما ينصح بإجرائه على الأقل وفقاً للمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)

5. خطوات الفحص

بعد التعرف على فلسفة الفحص وأساليبه وتوصيلاته يُمكن البدء بخطوات الفحص كالآتي

5.1 عزل المحول كهربائياً (Transformer De-energization) مع مراعاة تطبيق نظام (إيقاف مصادر

التيار) ووضع لافتات عليها (أو ما يُسمى بنظام التفاعل (Lock-out Tag-out LOTO)

5.2 عزل تصاميم مكافحة الحريق بأمان (أو كما يُسمى بنظام تبريد خزان المحول) وضع إنشطار لحريق (الحاص

بالمحول الفردي) فحصه بحسبة فحص النظام بشكل > طلي أثناء إجراء الفحص معقد يؤدي المخاطر

القوس الكهربائي وما يتطوّر عليه من مخاطر على الأشخاص أو المحول خاصة أثناء تطبيق الفولتية

على المحول أو قد يؤدي الماء لتلف جهاز الفحص نفسه.

5.3 تطبيق كافة إجراءات السلامة الخاصة بإجراء الفحوصات الكهربائية المُصمّمة في معايير معهد

مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE Recommended Practices for Safety in High-

Voltage and High-Power Testing) والمعهد الوطني الأمريكي للمعايير (ANSI National

Electrical Safety Code) ومُندممة إدارة السلامة والصحة المهنية (OSHA Specifications for

Accident Prevention Signs and Tags)

5.4 فتح أبواب الفولتية منخفضة (LV side terminals) والفولتية المرتفعة (HV side terminals)

وذلك إزالة التوصيلات عنها (Removing HV&LV Cables or Busbars) وكذلك إزاحة نقطة

التعادل للمحول (Neutral point) إن وجدت. ويعود لسبب وراء ذلك لتجنب تأثير موسعة

التيار على الفحص (Busbars) والتوصيلات (Cables) على نتيجة هذا الفحص

5.5 تبريد الشحومات مُحرّبة بملفات المحول (Trapped Charges) قبل توصيل كوابل الفحص وذلك

بعمل دائرة قصر للمصاب (Short circuit) وتاريخها لمدة من الزمن وكذلك الحال بعد الانتهاء من

الفحص وبمِل إزالة كوابل الفحص بالإضافة إلى أماكن من تأريض خزان المحول أثناء إجراء الفحص

والإبقاء على تأريض القلب الحديدي (Iron core) ودعائم تثبيت قلب (Core clamp).

تحذير: يكون تأريض كوابل الفولتية المرتفعة إما عبر مُستعجلات التأريض الثابتة

(Earthing Dis-connector) أو المُستقلة (Portable) قبل البدء بها هذه الكوابل

عن عوارض خزان المحولات (Bushings)، وذلك لما قد يحويها من فولتية حثية

(Induction voltage) ناتجة عن الحث أو الخطوط الهوائية (Overhead Lines

- OHL) المجاورة للمحول المُفرد فحصه والمشحونة بفولتيات مرتفعة



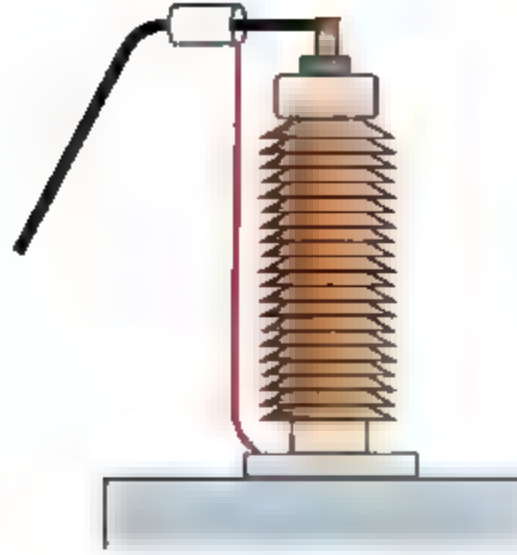
ملحوظة (3-8): يجب التأكد من استخدام كوابل لتأريض الحاص بجلاف (Sheath)

كوابل الفحص المجورة (Coaxial) كما هو مُبين الشكل (8-17)، وأن تكون أقصر ما

يُمكن مع مراعاة عدم ألقها على شكل محث حتى لا تؤثر على نتيجة الفحص، وكذلك

يُصبح بأن يكون من النوع (Flat braid).





الشكل رقم (8-17)

ملحوظة (8-4): يجب مراعاة أن يكون كوابل المحص المحورية (Coaxial cables) نفس الطول وأن لا يبرد طولها عن (30m) متر وفقاً للمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)



5.6 في حال سبق إجراء هذا الفحص، إجراء "برم" لمحوصات التي تعتمد على التوسيع الثابتة (DC) مثل فحص مقدومة عازل (Insulation resistance) أو فحص مقاومة انصهار (Winding resistance)، يُنصح بإزالة المغناطيسية المُتبقيّة (De-magnetization) بالمُرشّق لورده في نهاية المحصين، سائلي المركز (مصل ثاني و ثالث)، وذلك لأن تبريد هذا الفحص تتأثر سمة المغناطيسية المُتبقيّة وتشيع القلب الحديدي للمحول.

5.7 تسجيل درجة حرارة المحول، عدد ما يتم اعتماد درجة حرارة برت لعلوي (Top oil temperature)

5.8 لتأكد من وضعه مُعَيّر الخطوة (Tap changer) بحيث يكون عند الخطوة (Tap) التي تكون فيها كامل الممرات بالخدمة وعادة ما تكون الخطوة رقم واحد (Tap #1)، بالإضافة إلى إمكانية إجراء هذا الفحص عند خطوة (Tap) التي تكون فيها جميع ممرات مُعَيّر الخطوة (Tap changer) خارج الخدمة حسب معايير اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012] وهذا مُعَيّر الخطوة من النوع (OLTC)، أما فيما يخص مُعَيّرات الخطوة من النوع (DET or OCTC) يُمكن إجراء الفحص عند الخطوة التي كان عليها المحول أثناء عمله الطبيعي أي كما وُجد.

5.9 بالرجوع لمعايير اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012]، يُنصح قبل بدء الفحص بإجراء بعض المقتربات لتحار الفحص:

- (Zero-check measurement)
- (Repeatability Check)
- (Instrument performance check)

5.10 تحديد تردد الفحص:

بالرجوع لمعايير اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012] فإن أقل قيمة تردد قياس يجب أن تكون (20 Hz) هيرتز أو أقل، و أقل قيمة تردد مربع المحولات ذات السعات الأكبر من 72.5 kV كيو فولت يجب أن تكون (1 MHz) ميغا هيرتز، و أقل قيمة تردد مربع للمحولات ذات السعات الأقل أو تساوي (72.5 kV) كيو فولت يجب أن تكون (2 MHz) ميغا هيرتز.

5.11 عمن التوصية الخاصة بهذا الفحص وفقاً لأسلوب الفحص الخرد إجراءه وكما هو موضح في فقرة أساليب الفحص السابقة

5.12 باقي خطوات الفحص بواسطة أجهزة الفحص الحديثة يُمكن الرجوع للملحق (8-1) الخاص بجهاز الفحص (FRAX 99) المُصنع بواسطة شركة (MEGGER).

6. معلومات لا بُد من توافرها في تقرير الفحص

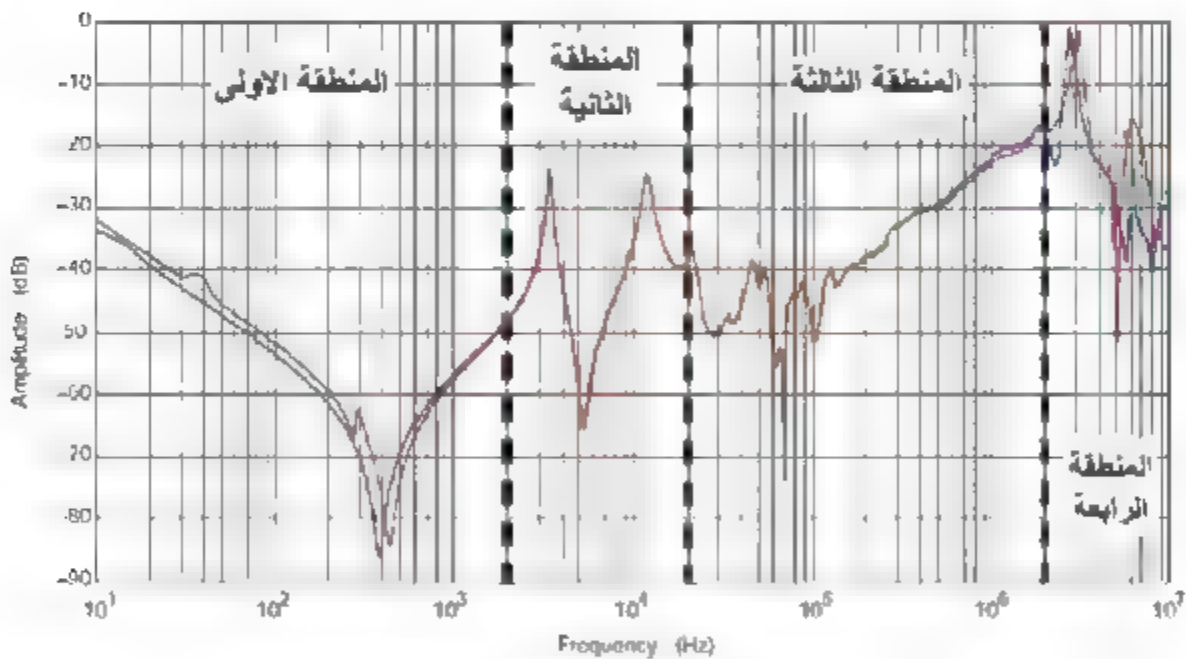
هناك مجموعة من المعلومات لا بُد من توفرها في تقرير الفحص وذلك عايات مساره الفحص مستخدماً ولتأمين المعلومات اللازمة عن توصيله الفحص عند إعادته مرة أخرى، حيث سيتم ذكر معلومات الواجب توفرها (required) مع الذكر بوجود الكثير من المعلومات ولكن هذه أهمها كما وردت في لمعيار الصادر عن معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات [IEEE, C57 149-2012]

- ✓ مُصنّع المحول – Transformer manufacture
- ✓ رقم المحول التسلسلي – Transformer serial number
- ✓ بطاقة التعريفية للمحول – Transformer ID
- ✓ الشركة المالكة للمحول – Company
- ✓ موقعها – Location
- ✓ وضع زيت المحول (مغمور أو موي) – Oil Status (immersed or not)
- ✓ طول القضبان الموصولة بمحورل (مختزن في حال تمثّل شكلها – Length of busbars connected to the bushings
- ✓ تاريخ ووقت إجراء الفحص – Date and Time of measurements
- ✓ وضعيه مُغير الخطوة – Tap changer position
- ✓ نوع الفحص (دائرة مفتوحة أو مقصور أو حتى أو سعوي) – Measurements type
- ✓ فولتية الفحص – Applied test voltage
- ✓ الأطراف التي تم تطبيق فولتية عليها والتي تم القياس عليها والتي تم تأريضها أو قصرها

7. طبيعة نتائج الفحص

إن نتيجة هذا الفحص تكون على شكل مُخطط بياني يوضح معيار نسبة الفولتية (Voltage ratio) أو كما تُسمى بالسعة (Amplitude) بوحدة (dB) مع التردد (Frequency) بالهيرتز وهي الأكثر شيوعاً. وكذلك يمكن التعبير عن هذا المحصر بمُخطط بياني لتغير فرق الطور (Phase difference) بالدرجة (°) مع التردد (Frequency) بالهيرتز.

لسك وفيل عدد من معايير تحصيل نتائج لفحص لا تُد من فهم طبيعة نتيجة هذا الفحص، فبالرجوع إلى أشهر معيار واشتراط القياسية الصادرة عن كبرى المنظمات كمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) والمجلس الدولي لأنظمة الكهربية الكيرة (CIGRE) ونجيه كهروتقنية الدولية (IEC) فإن المُخطط الناتج من هذا فحص واحص نسبة الفولتية (Voltage ratio) أو السعة (Amplitude) يمكن تقسيمه لأربعة مناطق وفقاً لتردد كما هو مُبين في الشكل (8-18) الواردة في المعيار (IEC 60076-18 2012)، بحيث تحتوي كل منطقة على مجموعة من الملامح التي تدل بحدوث من إجراء المحول كالنسب الحثية و مُداعة حلقات الحثية وسلافة للمغناطيسية، وسمات مُعتبر الخطوة (Tap changer) والموصلات ونقاط التوصيل.



الشكل رقم (8-18)

7.1 المنطقة الأولى (منطقة الترددات المنخفضة)

تأثر هذه المنطقة بشكل كبير بمحاثه القلب المغناطيسية (Magnetizing inductance) وموسعة المحول الكلية، وتضم هذه المنطقة الترددات المنخفضة (الأقل من 2kHz) كنيوهرتز

7.2 المنطقة الثانية (منطقة الترددات المتوسطة)

تأثر هذه المنطقة بشكل كبير بعلاقة العلاقات مع بعضها البعض أو ما يُسمى (Winding interaction) والمقصود هنا توصيله، علاقات فيما إذا كان المحوّل أحادي/ثلاثي الطور أو أن المصنّف موصوله على شكل مثلث (Delta - Δ) أو نجمة (Star - Y) وإذا كان المحوّل من النوع التلقائي (Autotransformer). وتصمّم هذه المنطقة لترددات متوسطة (2 kHz - 20 kHz) كسوهترتر

المحوّل ثلاثي حوّل القسب الحديدي ثلاثي الأغلفة (Core type) في رسمه لطور الأوسط تحتوي على منطقة رنين عكسي (Antiresonance) وحدة مقارنة بالطورين الآخرين هناك يحتوي على منطقتي رنين عكسي، ويعود السبب في ذلك لتماثل مسارات المجال بمعديتي داخل القسب (Symmetrical reluctance paths) كما وتُحدّر الإشارة إلى تأثير هذه المنطقة بتقدير المعديتي السببية في قلب الحديدي (Core residual magnetization).

7.3 المنطقة الثالثة (منطقة الترددات المرتفعة)

تأثر هذه المنطقة بشكل كبير بنسبة التبعات (Winding structure) والتي تكون على شكل محالّة تسرب (Leakage inductance) وموسعات على التوالي (L_s) وعلى البواري (L_g)، عمداً بأن الموسعات على البواري تُعد الأكثر تأثيراً على شكل رسمه الإستجابة لحدّ الفحص، وتصمّم هذه المنطقة الترددات المرتفعة (20 kHz - 1 MHz)

7.4 المنطقة الرابعة (منطقة الترددات بعد المرتفعة)

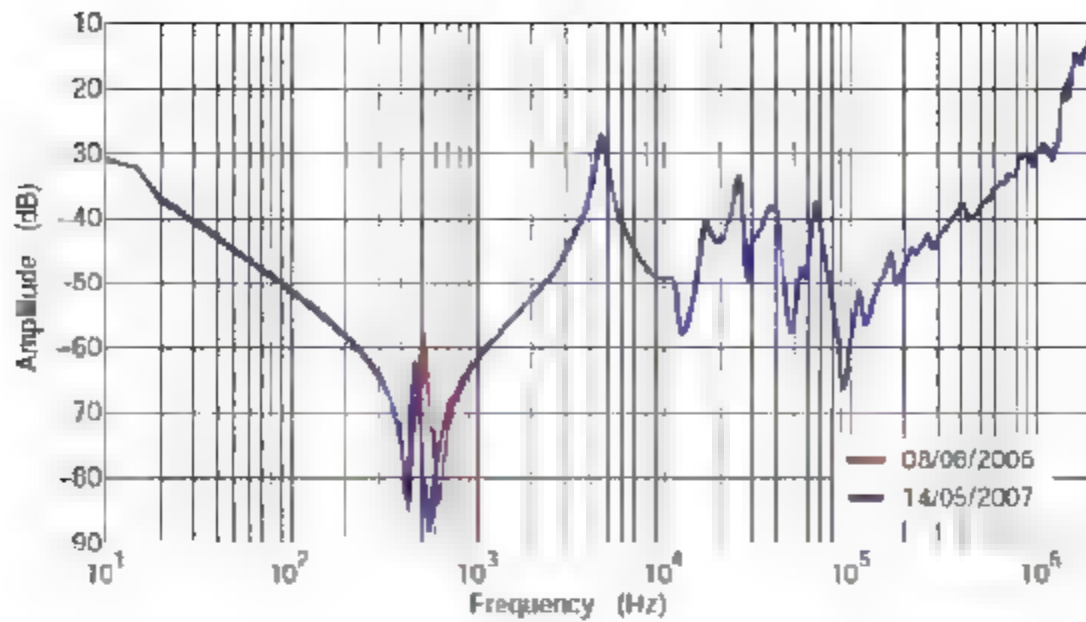
تأثر هذه المنطقة بشكل كبير بتوصيله الفحص خادمة توصيل الكوّن المحوريّة (Coaxial cables) المستخدمة في الفحص بالأرض، وتصمّم هذه المنطقة الترددات الأكثر من (1MHz) سيهايرتر للمحوّل ذات العولتية لأكثر من (72.5kV) كهوفولت وترددات الأكثر من (2MHz) للمحوّل ذات العولتية لأقل من أو تساوي (72.5kV) كيلوفولت

8. تحليل نتائج الفحص

يرجع للمعايير الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012] يمكن بعد الفحص الآتية لتحليل نتائج هذا الفحص:

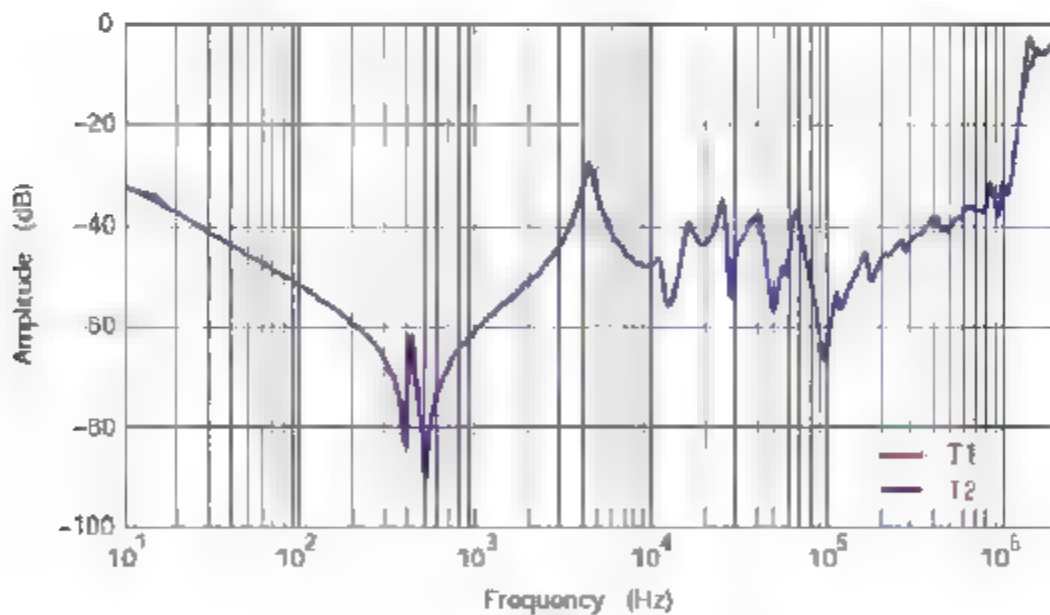
8.1 الطريقة الأولى: مقارنة نتائج الفحص ببيانات الفحوصات القبول لمصنعة (Factory)

(Acceptance Test - FAT) أو الموقعية (Site Acceptance Test - SAT) أو غيرها من القيم المرجعية كبيانات الفحوصات الروتينية السابقة (Routine Test) لهذا المحوّل كما هو مبين بشكل (8-19)



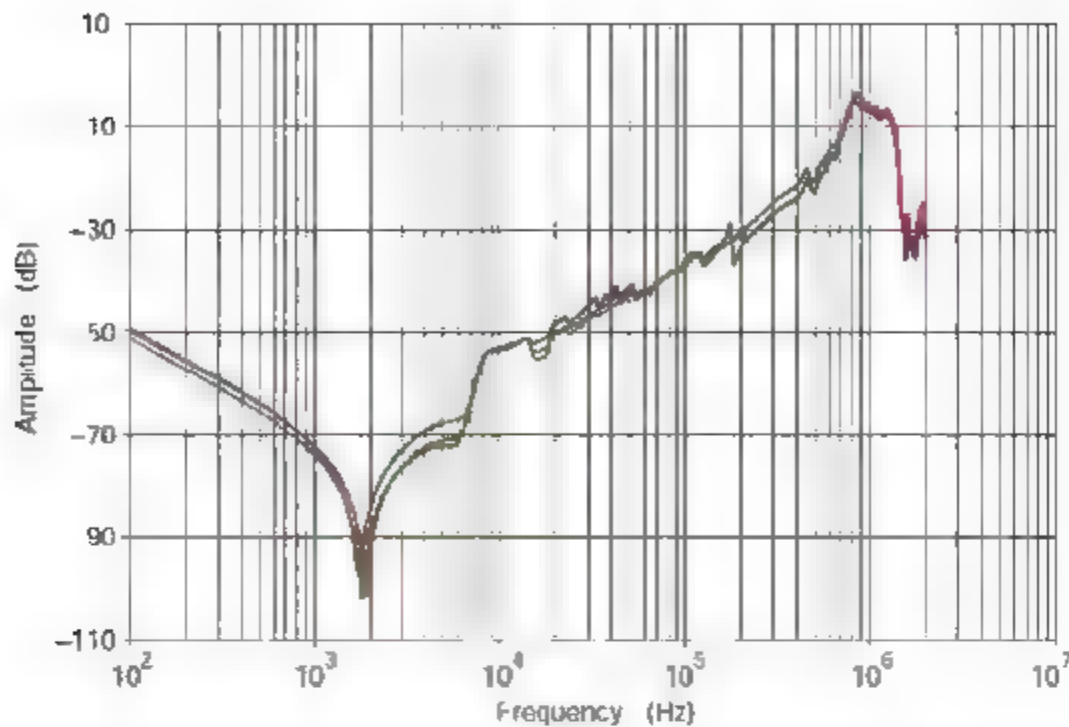
الشكل رقم (8-19)

8.2 الطريقة الثانية: مقارنة نتائج الفحص نتائج فحص لمحول مُشابه تماماً من نفس المصنّع وله نفس المواصفات (المخفية المحوّل المعروض وهو ما يُسمى بالمحول التوأمة (Twin transformer) كما هو مبين بالشكل (8-20)



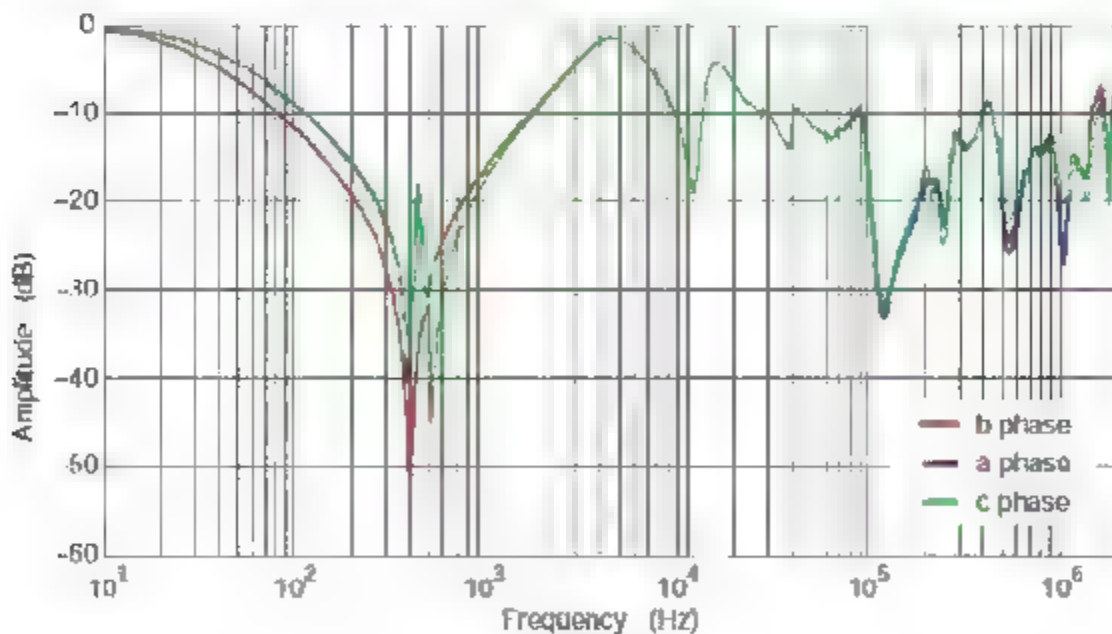
الشكل رقم (8-20)

8.3 الطريقة الثالثة: مقارنة نتائج الفحص نتائج فحص لمحول مُشابه تماماً من نفس المصنّع وله نفس المواصفات لمحول المعروض ولكن قد يختلف التركيب الداخلي وهو ما يُسمى بالمحول الشقيق (Sister transformer) كما هو مبين بالشكل (8-21)



الشكل رقم (8-21)

8.4 الطريقة الرابعة: مقارنة سطح التحصين بين لأغور المعطى للمحول، كما هو مبين بالشكل (8-22)، مع مراعاة وجود بعض الإختلافات الضعيفة بين رسمه هذه الأطوار ويعود أسباب وراء ذلك لإختلاف أطوال موصلات هذه الأطوار بالإضافة لإختلاف المسافة الماصلة بين مصدر الأطوار المختلفة وخزان المحول ولأسباب أخرى كثيرة.



الشكل رقم (8-22)

وإن رجوع لنفس المعيار [IEC, 60076-18 2012] يمكن إيجاد بعض الأمور التي يجب ملاحظتها عند المقارنة بين النتائج الحدية و نتائج القياسات لنفس المحول أو لمحول مشابه أو أثناء المقارنة بين لأشكال وذلك لتحليل أمثل لنتيجة هذا الفحص ومن هذه المعايير:

- الاختلاف في شكل العام لرسم الاستجابة (Frequency response)
- اختلاف عدد مرات حدوث الرنين (Resonance) وهي القيم المرصدة في الرسم (Maxima).
- بالإضافة لاختلاف عدد مرات حدوث الرنين العكسي (Antiresonance) وهي القيم المنخفضة بالرسم (Minima)
- حدوث إزالة للرسم.

9. أمثلة على أنماط نتائج وفقاً لنوع العطل

تمت الأعطال الميكانيكية التي قد تُصيب الملفات أو القلب الحديدي للمحول وفيما يلي أنواع العيوب الميكانيكية المؤثرة على المحول، فمنها ما قد يكون على شكل هزئ كهربائي، وبمعدنية ناتجة عن مرور تيار عطل مرتفعة في الملفات ومنها ما هو ميكانيكي يحدث كعزل المحول المسقوط أو الصدمات.

أما فئات المعايير الصادرة عن معهد معهد سي الكهربائي والإلكترونيات [IEEE, C57.149-2012] مجموعة من النتائج المتوقعة في حال تعرض المحول لأنواع مختلفة من الأعطال الميكانيكية لمفاده أو قلبه الحديدي كالآتي:

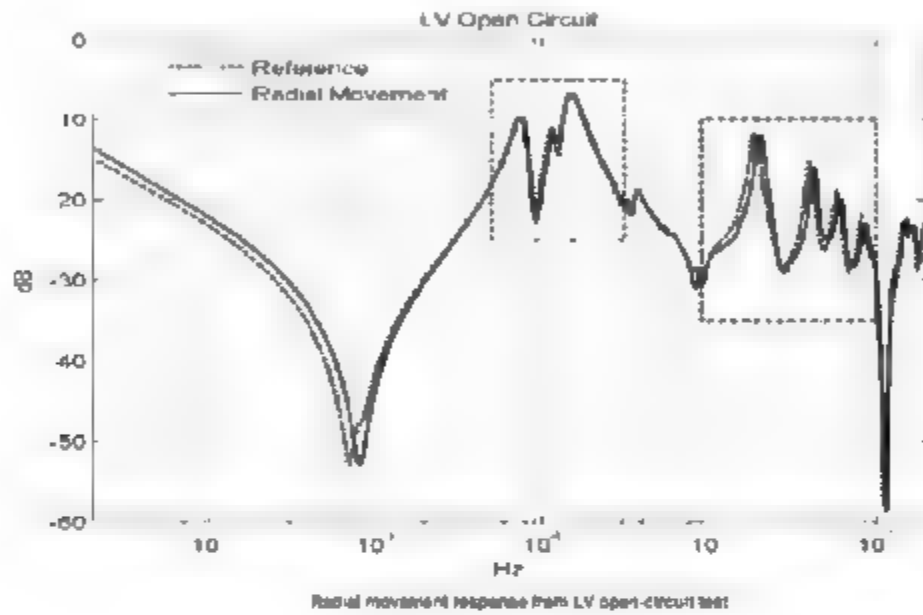
9.1 تشوه الملفات الشعاعي/القطري – Radial winding deformation

عند تعرض المحول لهذا النوع من الأعطال فإن تأثيره على نتيجة الفحص تبعاً لتردد يكون كما هو موضح في الجدول (8-2) لآتي ولأشكال (8-23&24). على فرض تعرض المحول لهذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57.149-2012].

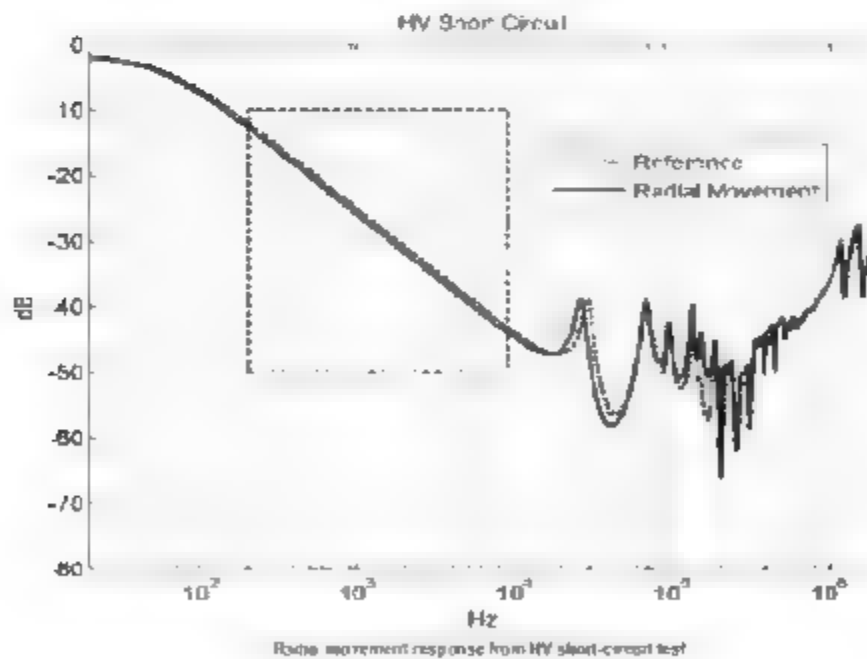
الجدول رقم (8-2)

نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz – 10kHz	أسلوب دائرة مفتوحة - End to End open circuit يشكل عدم هذا الخط من الترددات لا يتأثر مستوى ملفات الشعاعي / القطري. أسلوب دائرة مغلقة - End to End short circuit قد يلاحظ زيادة في انخفاض طفيف في الرسم
5kHz – 100kHz	أسلوب دائرة مفتوحة ومغلقة - End to End open/short circuit قد تحدث إزاحة للرسم أو قد تظهر بعض قيم الرنين (Resonance) أو انخفاضات رنين عكسي (Antiresonance) تبعاً لحدوث ومدة الصدمة الذي حدث للملفات، حيث أن التأثير على هذا النطاق من الترددات يكون صغير وقد يصعب كشفه.
50kHz – 1MHz	أسلوب دائرة مفتوحة ومغلقة - End to End open/short circuit

<p>قد تحدث إزاحة للرسم إذا تظهر بعض قمم رنين (Resonance) أو انخفاضات رنين عكسي (Antiresonance) تبعاً لخطورة وشدة التشوه الذي حدث للملفات، حيث أن سائير عين هذا التطاق من الترددات يكون الأكثر وضوحاً لهذا النوع من الأعطال. مع إمكانية تأثير هذه النوع من الأعطال على نتيجة الملفات الأخرى بدرجة أقل من الملفات المعرضة للعطال.</p>	
<p>أسلوب الدائرة المفتوحة والمقصورة - End to End open/short circuit شكل عام هذا طاق من الترددات لا تثار بشوة مناسب لشعبي/شعبي لا في حالات تشوه المنقلب الكبير الذي قد يظهر في هذا النمط</p>	أكبر من 1MHz



الشكل رقم (8-23)



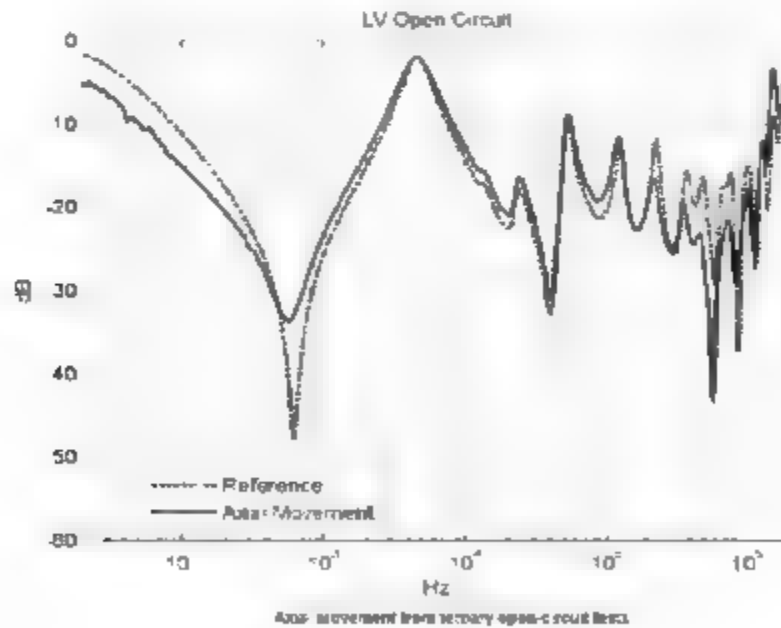
الشكل رقم (8-24)

9.2 تشوه الملفات المحوري – Axial winding deformation

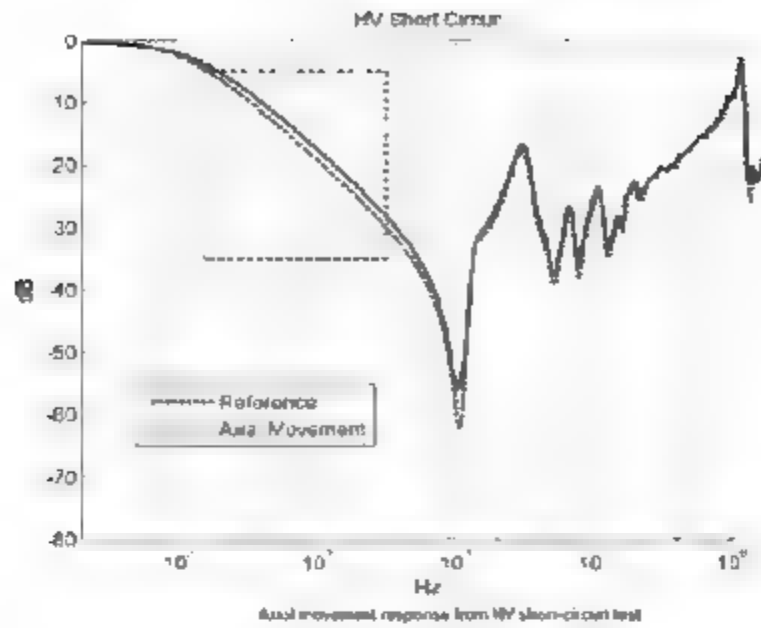
عند تعرّض المحول لهذا النوع من الأعطال فإن تأثيره على نتيجة الفحص نوعاً ما لا يكون كما هو موضح في الجدول (8-3) الآتي والاشكال (8-25&26)، على فرض تعرّض المحول لهذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57 149-2012]

الجدول رقم (8-3)

نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz – 10kHz	أسلوب دائرة المفتوحة – End to End open circuit بشكل عام هذا الخطأ من الترددات لا يتأثر بتشوه الملفات المحوري. - أسلوب الدائرة المقصورة – End to End short circuit قد يؤدي لتغير المعاوقة وما يصاحبه من تغير طفيف في الرسمة
5kHz – 100kHz	- أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit قد تحدث إزاحة لرسمه وقد يظهر بعض قمة رنين (Resonance) أو انخفاض رنين عكسي (Antiresonance) تبعاً لحدوث تشوه الذي حدث أصلاً، حيث أن تأثير على هذا النوع من الأخطاء يكون لأكثر وضوحاً عند التردد من 10kHz مع ملاحظة أن هذه النوع من الاعطال من نتيجة الملفات الأخرى بدرجة أقل من الملفات المتعرضة للعزل
50kHz – 1MHz	- أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit قد تحدث إزاحة للرسمه وقد يظهر بعض قمة رنين (Resonance) أو انخفاض رنين عكسي (Antiresonance) تبعاً لحدوث تشوه الذي حدث أصلاً، مع ملاحظة أن تأثير هذه النوع من الأعطال على نتيجة الملفات الأخرى بدرجة أقل من الملفات المتعرضة للعزل
أكبر من 1MHz	أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit بشكل عام هذا النطاق من الترددات لا تتأثر بتشوه الملفات المحوري.



الشكل رقم (8-25)



الشكل رقم (8-26)

9.3 إزاحة كُلية للملفات – Bulk winding movement

بعد تعرّض لمحول لهذا النوع من الأعطال فإن تأثيره على نتيجة الفحص تبعاً للتردد يكون كما هو موضح في الجدول (8-4) الاتي على فرض تعرّض لمحول هذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57.149-2012]

الجدول رقم (8-4)

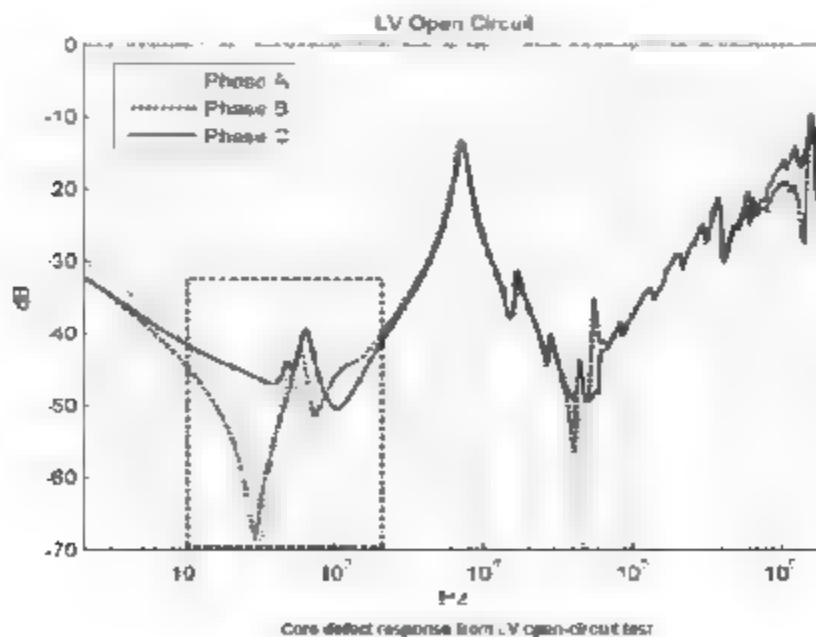
نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz – 10kHz	<ul style="list-style-type: none"> - أسلوب الدائرة المفتوحة – End to End open circuit بشكل عام هذا النطاق من الترددات لا يتأثر بنشوء الملفات. - أسلوب الدائرة المقصورة – End to End short circuit بشكل عام هذا النطاق من الترددات لا يتأثر بنشوء الملفات
5kHz – 100kHz	<ul style="list-style-type: none"> - أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit تظهر بعض قيم رنين (Resonance) أو إعقاقات رنين عكسي (Antiresonance) تبعاً مقدار حركة الملفات (إزاحة كُلية) أن هذه اسمة تعدّ لظهور في حيز حدوث هذا النوع من الأعطال بالإضافة إلى احتمالية حدوث إزاحة للرسم، حيث أن التأثير على هذا النطاق من الترددات يكون أكثر وضوحاً في النوع من الأعطال، مع إمكانية تأثير هذا النوع من الأعطال على نتيجة الملفات الأخرى بدرجة أقل من الملفات المتعرضة للعطل.
50kHz – 1MHz	<ul style="list-style-type: none"> أسلوب الدائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit بشكل عام هذا النطاق من الترددات لا يتأثر بهذا النوع من الأعطال، مع إمكانية التأثير على منطقة الترددات المرتفعة من هذا النطاق في حال حدوث اختلاف للمواسعة (C_L)
أكبر من 1MHz	<ul style="list-style-type: none"> أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit حدوث اختلاف للمواسعة (C_L) قد يؤدي لإزاحة قيم الرنين (Resonance)

9.4 أعطال القلب الحديدي – Iron core defects

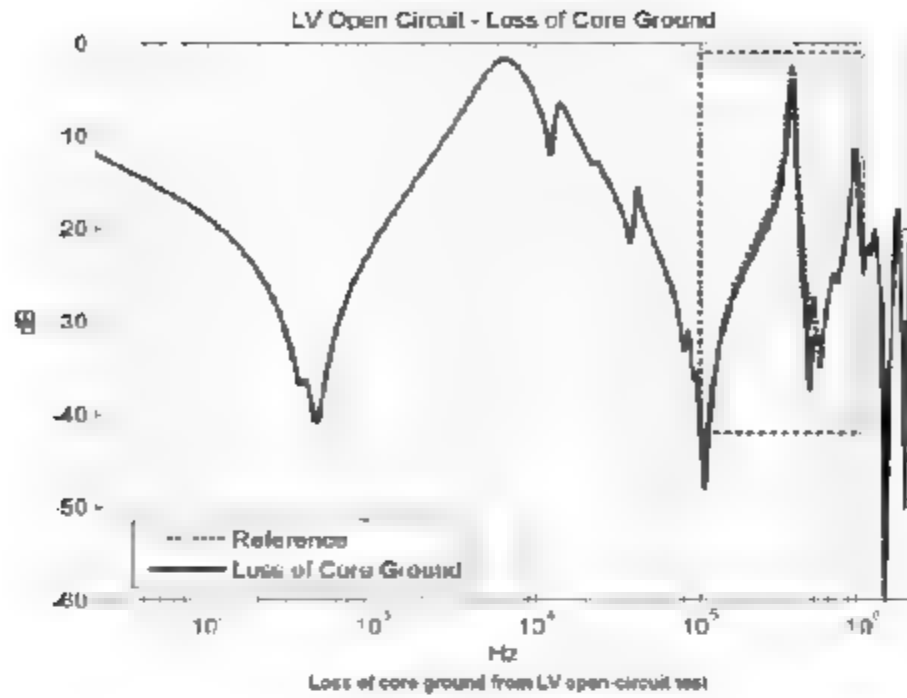
عند تعرّض القلب الحديدي للمحول للأعطال فإن ذلك يؤدي لتغيّر دافئته المغناطيسية مما بدوره يؤدي لإختلاف نتيجة هذه الفحص ويتّيج كشف عن هذا النوع من الأعطال، حيث تتبوع أعطال القلب الحديدي من حرق الرقائق المكوّنة للقلب الحديدي أو وجود تأثيره وضرب بين هذه الرقائق أو وجود نقاط تأريض متعددة غير مرغوب بها أو فقدان تأريض هذا القلب الحديدي وغيرها من الأعطال التي قد تؤثر على نتيجة الفحص سلباً لمزيد كما هو موضح في الجدول (8-5) لاني وأشكال (8-27&28)، على فرص تعرّض المحول لهذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57.149-2012]

الجدول رقم (8-5)

نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz – 10kHz	- أسلوب الدائرة المفتوحة – End to End open circuit تفصل السبب حينئذ يؤثر على هذا لنطاق من الترددات بالحديد، ويكون تأثير على شكل اختلاف في شكل رسمه الإستجابة مع احتمالية قليلة لحدوث إزاحة لرسمه الإستجابة. - أسلوب دائرة مغلقة – End to End short circuit يشكل عدم هذا المدخل من الترددات لا يتأثر بأعطال القلب الحديدي
5kHz – 100kHz	- أسلوب دائرة مغلقة ومقدورة – End to End open/short circuit إحتمالية ظهور بعض قيم رنين (Resonance) أو إنخفاضات رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسمه الإستجابة
50kHz – 1MHz	- أسلوب دائرة مفتوحة ومقدورة – End to End open/short circuit يشكل عام هذا لنطاق من الترددات لا يتأثر بهذا النوع من الأعطال، مع إمكانية تأثير على منطقة الترددات المربعة من هذا النطاق إزاحة لرسمه الإستجابة في حال حدوث عطل في تأريض القلب الحديدي
أكبر من 1MHz	- أسلوب دائرة مفتوحة ومقدورة – End to End open/short circuit حدوث أعطال في تأريض القلب الحديدي قد يؤدي لإزاحة لرسمه الإستجابة.



الشكل رقم (8-27)



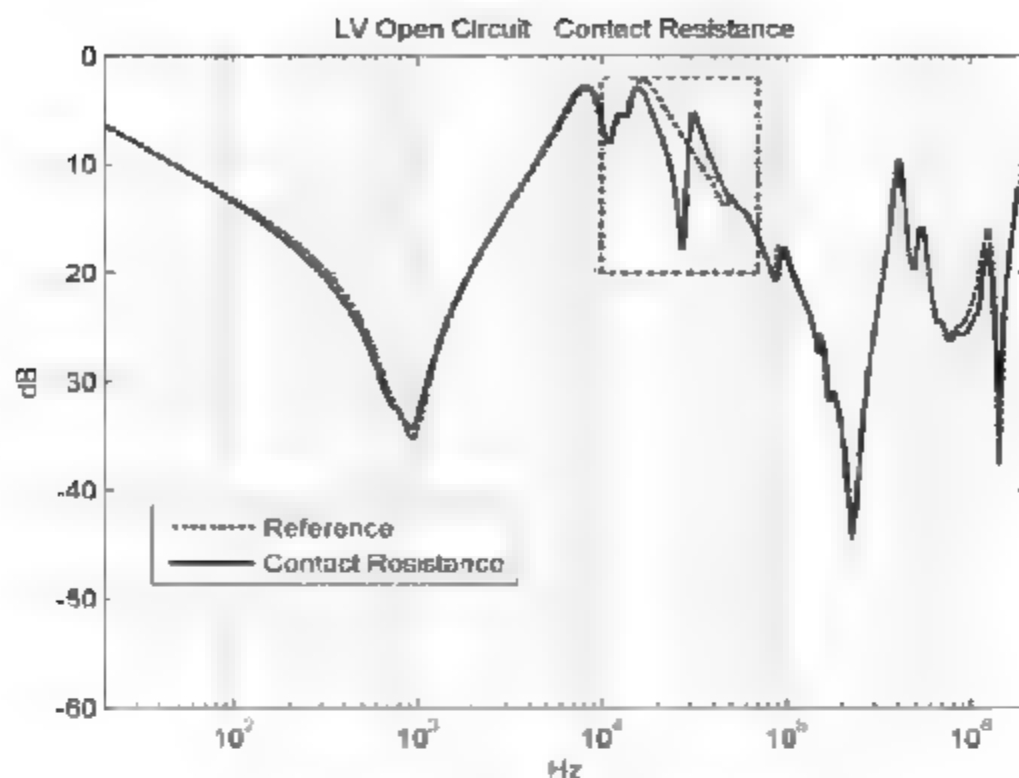
الشكل رقم (8-28)

9.5 مقاومة تلامس مرتفعة – High contact resistance

قد يحدث ارتفاع قيمة مقاومة التلامس داخل المحول خذمة نقاط إنقواء الأسطح المعدنية بعضها لبعض نتيجة لإرتدادها أو تآكلها كلف 1 إنقواء موصلات عوزل الإحتراق (Bushing) بالملفات أو نقاط إنقواء موصلات مُعبر الخطوط (Tap changer) ، أماهات، وكون تأثير هذا النوع من الأعطال على نتيجة المحصر كما هو موضح في الجدول (8-6) لاني و لاشكال (8-29&30)، على فرض نعريض للمحول لهذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57.149-2012]

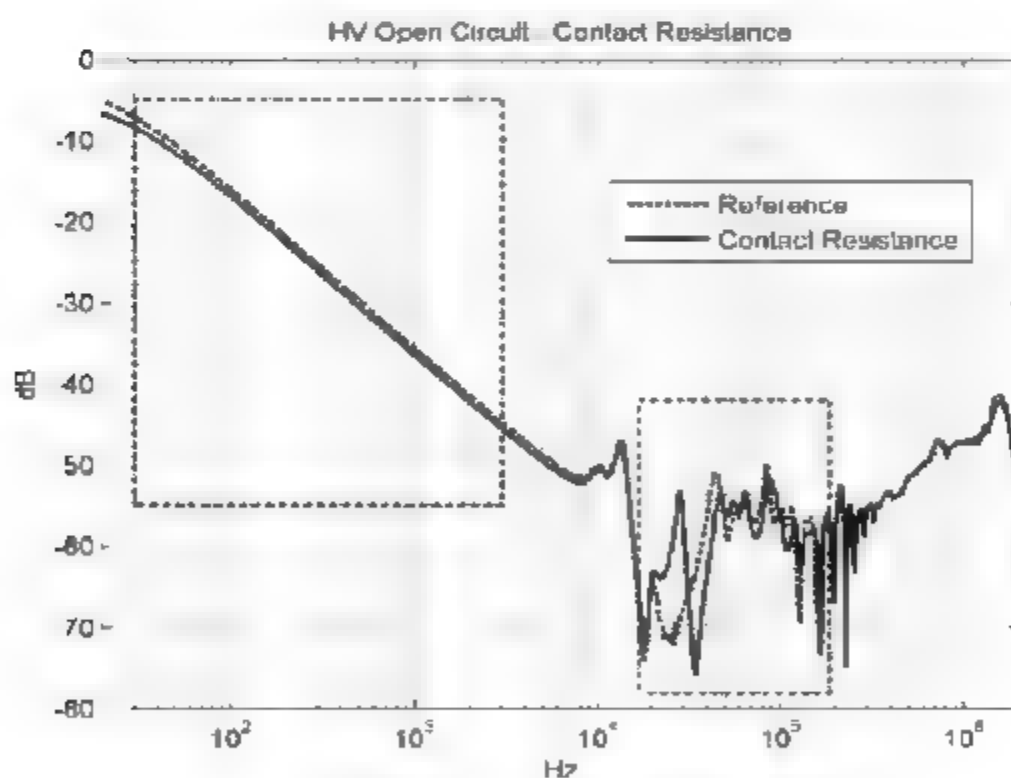
الجدول رقم (8-6)

نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz - 10kHz	أسلوب الدائرة المفتوحة - End to End open circuit يشكل عام هذا النطاق من الترددات لا يتأثر بقيمة مقاومة التلامس.
5kHz - 100kHz	- أسلوب الدائرة المفتوحة والمقصورة - End to End open/short circuit احتمالية ظهور بعض قسم رنين (Resonance) أو انخفاض رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسة الإستجابة
50kHz - 1MHz	أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة - End to End open/short circuit احتمالية ظهور بعض قسم رنين (Resonance) أو انخفاض رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسة الإستجابة.
أكبر من 1MHz	- أسلوب الدائرة المفتوحة والمقصورة - End to End open/short circuit احتمالية ظهور بعض قسم رنين (Resonance) أو انخفاض رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسة الإستجابة



Contact Resistance response from LV open-circuit test

الشكل رقم (8-29)



Contact Resistance response from HV short-circuit test

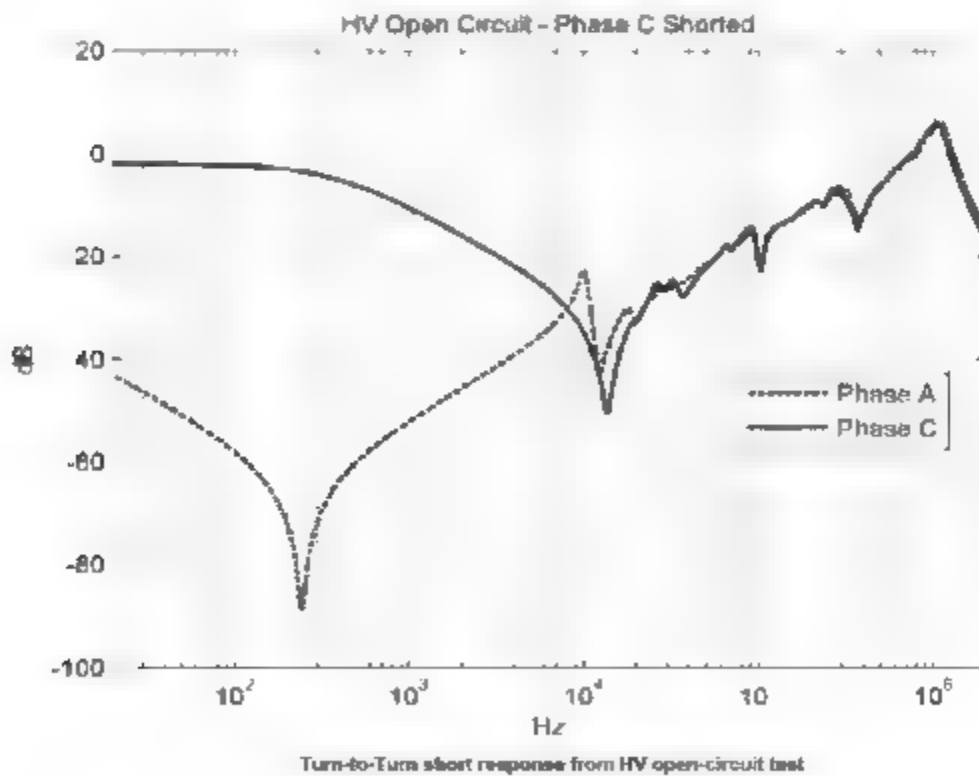
الشكل رقم (8-30)

9.6 قِصْر بين اللفات – Turn to turn short circuit

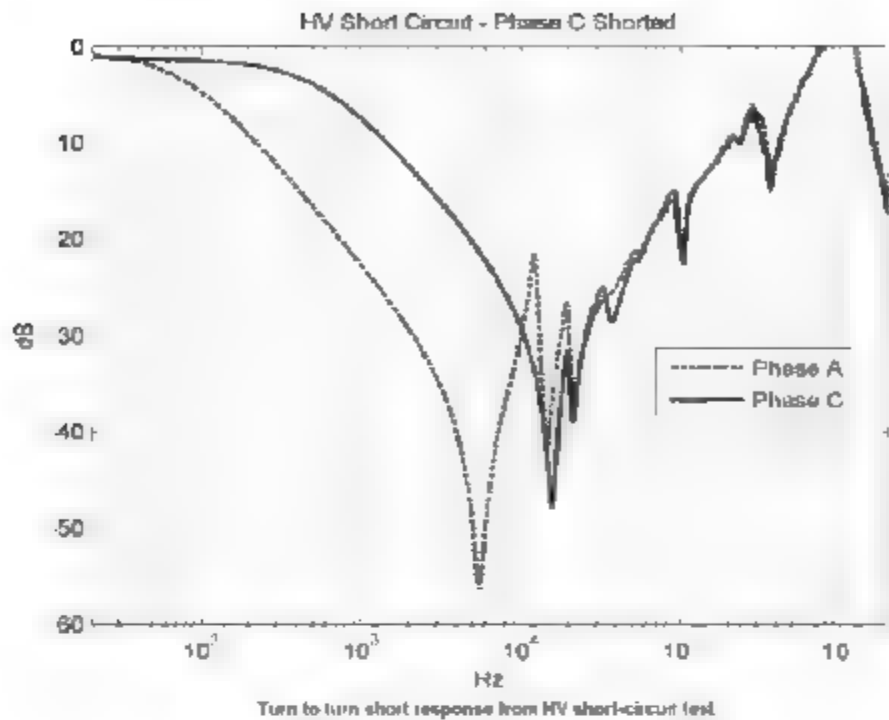
في حال تعرّض المحوّل لهذا النوع من الأعطال والذي يكون على شكل قِصْر بين اللفات من لطور الواحد أو بين اللفات من لأطوار، المحسّنة فإن ذلك من شأنه التأثير على نتيجة الفحص كما هو موضح في الجدول (8-7) ولأشكال (8-31&32). على قرص تعرّض المحوّل لهذا النوع من الأعطال فقط [IEEE, C57.149-2012]

جدول رقم (8-7)

نطاق التردد	التأثير على نتيجة الفحص
10Hz - 10kHz	أسلوب الدائرة المفتوحة – End to End open circuit وجود هذا الحمل يسبب تأثير الحث العديدي على نتيجة الفحص ويصبح شبهة بشبهة الفحص بأسلوب دائرة القصر (SFRA – end to end short circuit)
5kHz - 100kHz	- أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit - تعالته تتغير عند قسم رنين (Resonance) أو انعكاست رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسمه الإستجابة
50kHz - 1MHz	- أسلوب الدائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit - احتمالية ظهور بعض قسم رنين (Resonance) أو انعكاست رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسمه الإستجابة
أكبر من 1MHz	- أسلوب دائرة المفتوحة والمقصورة – End to End open/short circuit - احتمالية ظهور بعض قسم رنين (Resonance) أو إنخفاضات رنين عكسي (Antiresonance) أو إزاحة لرسمه الإستجابة



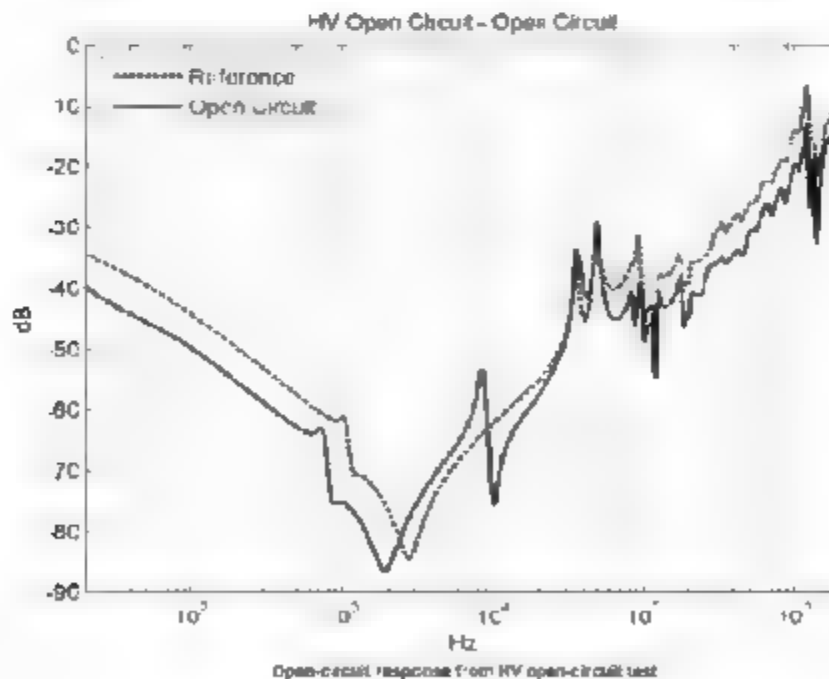
الشكل رقم (8-31)



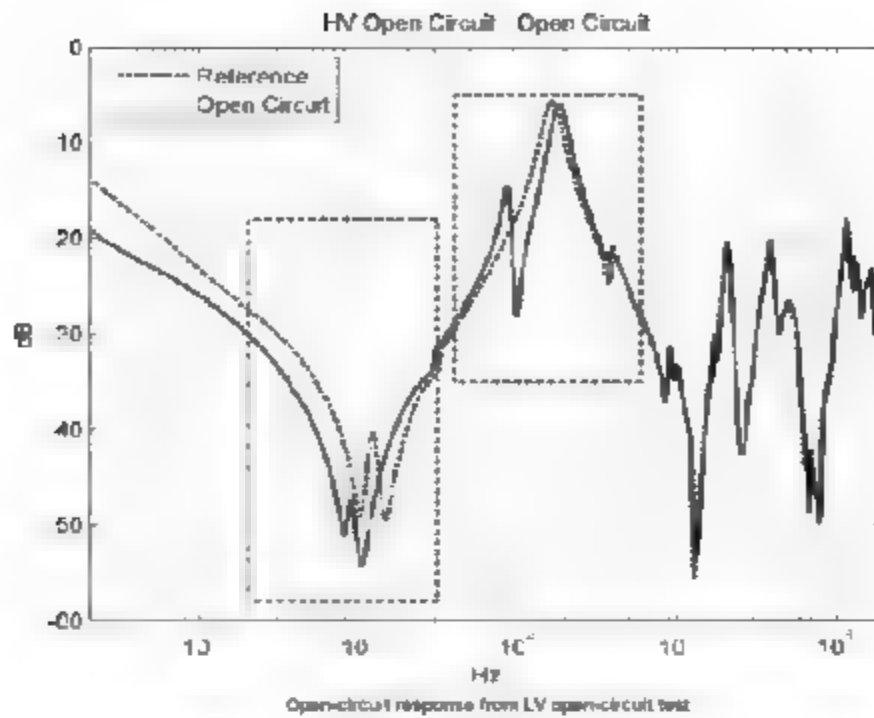
الشكل رقم (8-32)

9.7 قطع في دائرة الملفات – Winding open circuit

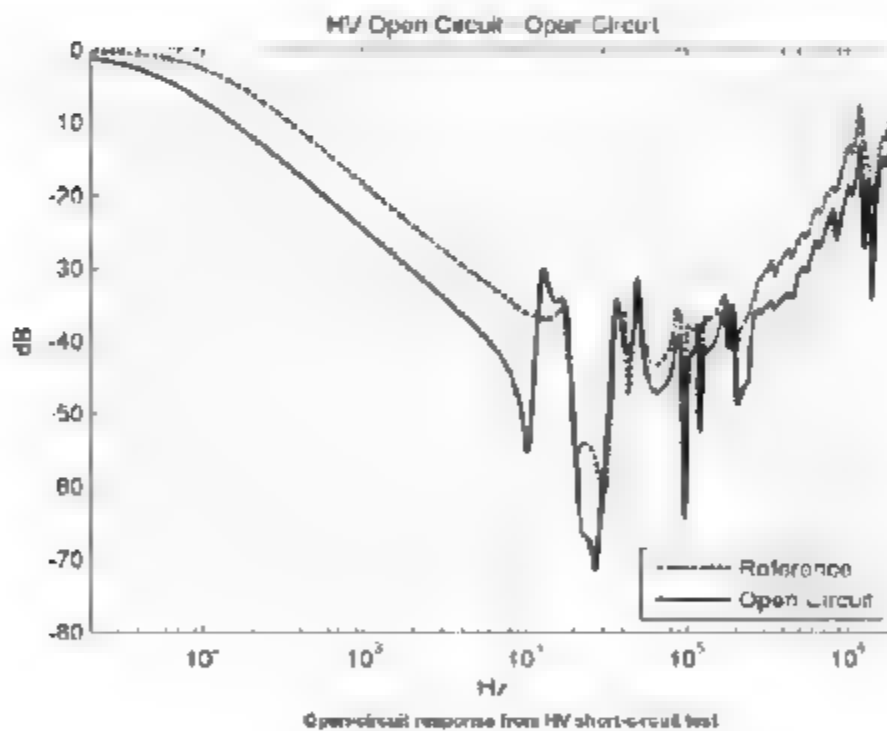
في حال تعرض المحول لهذا النوع من الأخطاء فإن ذلك يؤدي لارتفاع معاوقة (Impedance) دائرة تحت الفحص وهذا من شأنه التأثير على نتيجة الفحص والذي يكون عادةً على شكل زيادة في نسبة الأسفل نتيجة لارتفاع قيمة المعاوقة كما هو موضح في الأشكال (8-33&34&35)، على عرض تعرض المحول لهذا النوع من الأخطاء [IEEE, C57 149-2012]



الشكل رقم (8-33)



الشكل رقم (8-34)



الشكل رقم (8-35)

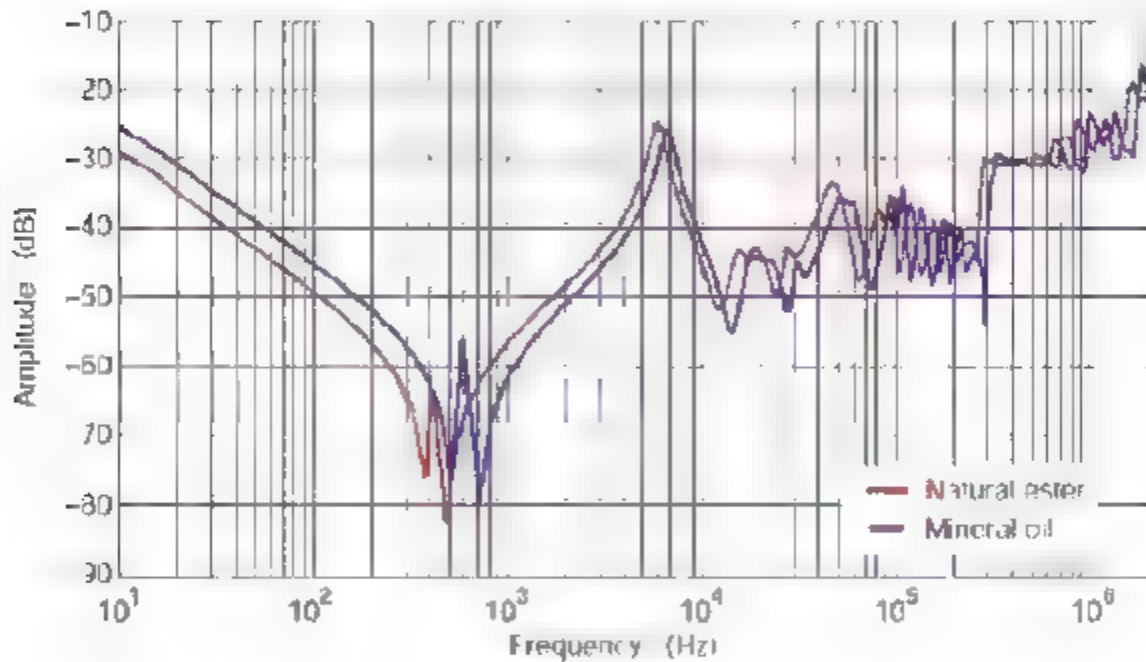
ولمزيد في هذا الخصوص يمكن إيجاد محقق (8-2) والتي تضم شخص لبعض أعطال المحولات وتأثيرها على نتيجة فحص الاستجابة لتردداته وفقاً لمجموعة من المعايير والدرجات واشتراطات معينة كما ورد [Mohd Yousof, Frequency Response Analysis for Transformer Winding Condition Monitoring – University of Queensland]

10 العوامل المؤثرة على نتيجة الفحص

هناك عدة عوامل مؤثرة على نتيجة هذا الفحص والتي لا تُد من لإحاطة بها من أجل تجنب تأثيرها أو لتخفيف منه على الأقل أو أحدها، نعين الإعتبار عند تحليل نتائج هذا الفحص، ومن هذه العوامل

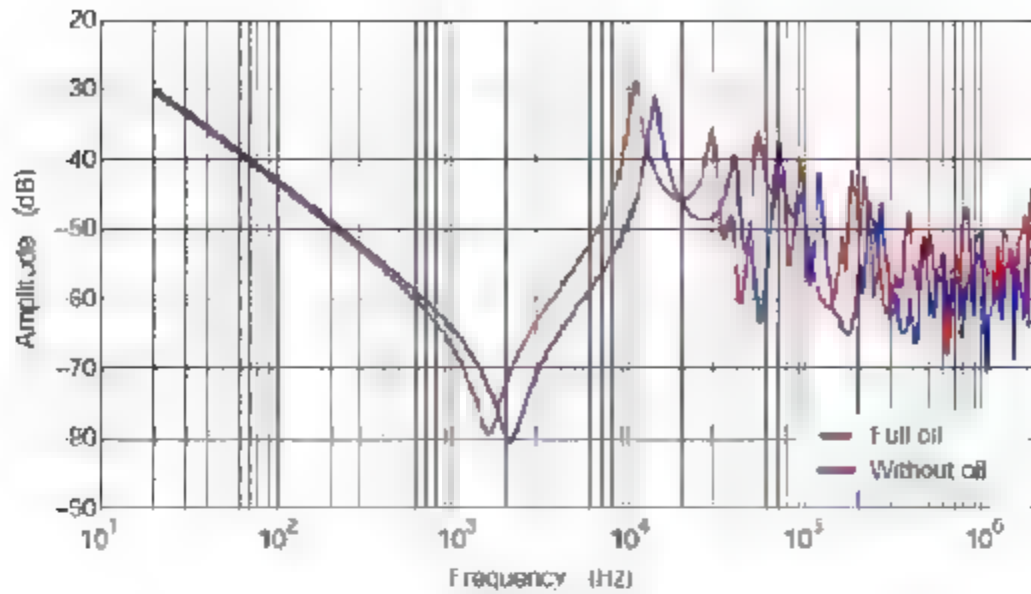
10.1 تأثير زيت المحول - Transformer oil effect

كما هو معلوم أن فعالية الزيت المعدي (Mineral oil permittivity) تختلف عن فعالية زيت الندي (Natural Ester) وكذلك عن فعالية الهواء، حيث أن فعالية الزيت الندي (Natural Ester) مرتفعة مقارنة بفعالية الزيت المعدي (Mineral oil) مما يربد من المواسعة الكليّة للمحول وهذا بدوره يُبس من قيمة ترددات الرنين (Resonance frequencies) والتي من شأنه عمل إراحة بسيطة الإستجابة (Frequency response) نحو ترددات المنخفضة كما هو مبين في الشكل (36-18) الذي يوضح اختلاف نتيجته فحص (SFRA) بين نوع الزيت المستخدم في المحول فيما إذا كان زيت ندي (Natural ester) أو زيت معدي (Mineral oil) كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC, 60076-18 2012)



الشكل رقم (36-18)

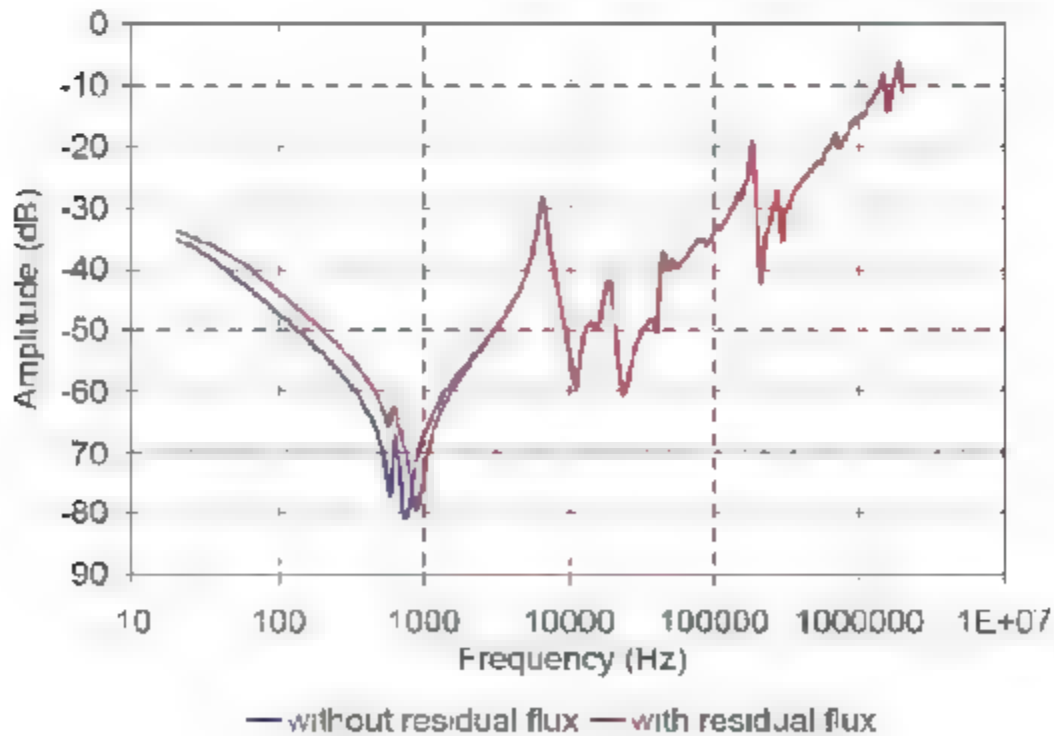
الشكل (37-8) يوضح اختلاف نتيجة فحص (SFRA) 'محول في حال كان مُفرغ من الزيت وفي حال يحتويه على زيت اعزل كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC, 60076-18 2012)



الشكل رقم (8-37)

10.2 تأثير مغناطيسية القلب الحديدي المتبقية – Core residual magnetism effect

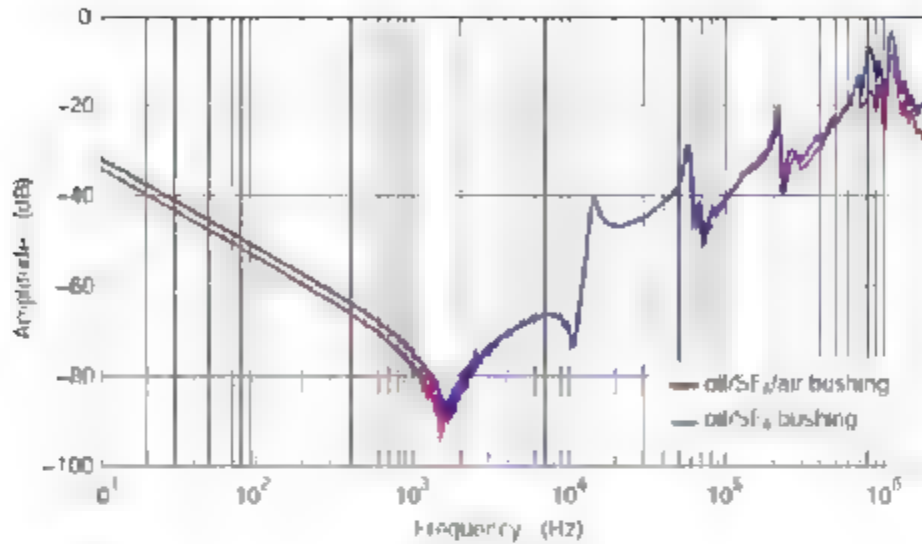
إن مغناطيسية القلب المتبقية من شأنها أن تؤثر على نتيجة هذا التحصن للتردد الأقل من (5kHz)، والشكل (8-38) يوضح نتيجة فحص (SFRA) لمحول فـس وبعد إجراء فحص مقاومة العزل الذي من شأنه بدء مغناطيسية متبقية في القلب الحديدي، حيث يظهر تأثير هذه المغناطيسية المتبقية على الترددات المنخفضة، أما الترددات المرتفعة فإن نتيجة الفحص منخفضة كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية [IEC, 60076-18 2012]



الشكل رقم (8-38)

10.3 تأثير عوازل الإحتراق – Transformer bushings effect

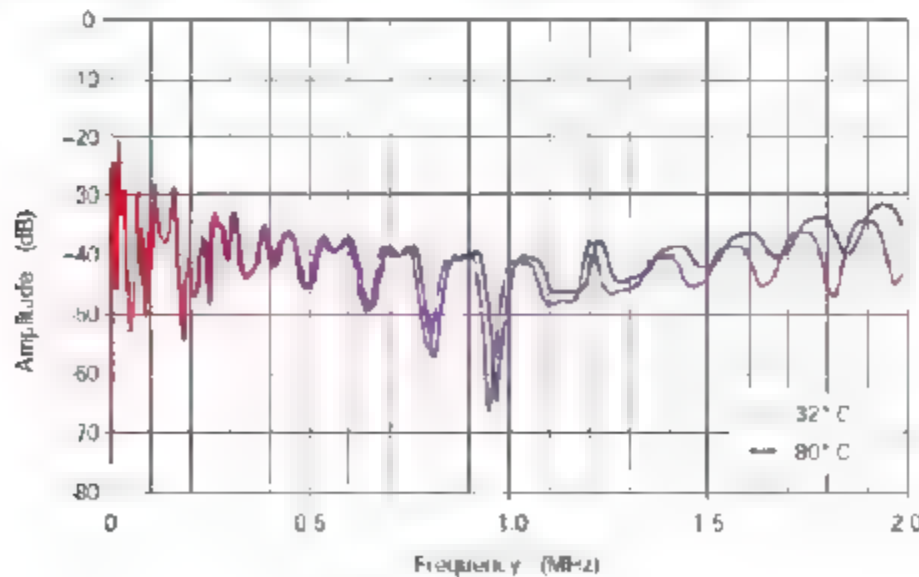
عادة ما يتم إستخدام عوازل إحتراق (Bushings) أثناء الفحص المصلي لعيوب فحص فقط، تحذف عن بصيرتها التي يتم تركيبها في الموقع مما يولد اختلاف في نتيجة الفحص خاصة بالترددات المرتفعة كما يظهر في الشكل (8-39) كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC, 60076-18 2012]



الشكل رقم (8-39)

10.4 تأثير درجة الحرارة – Temperature effect

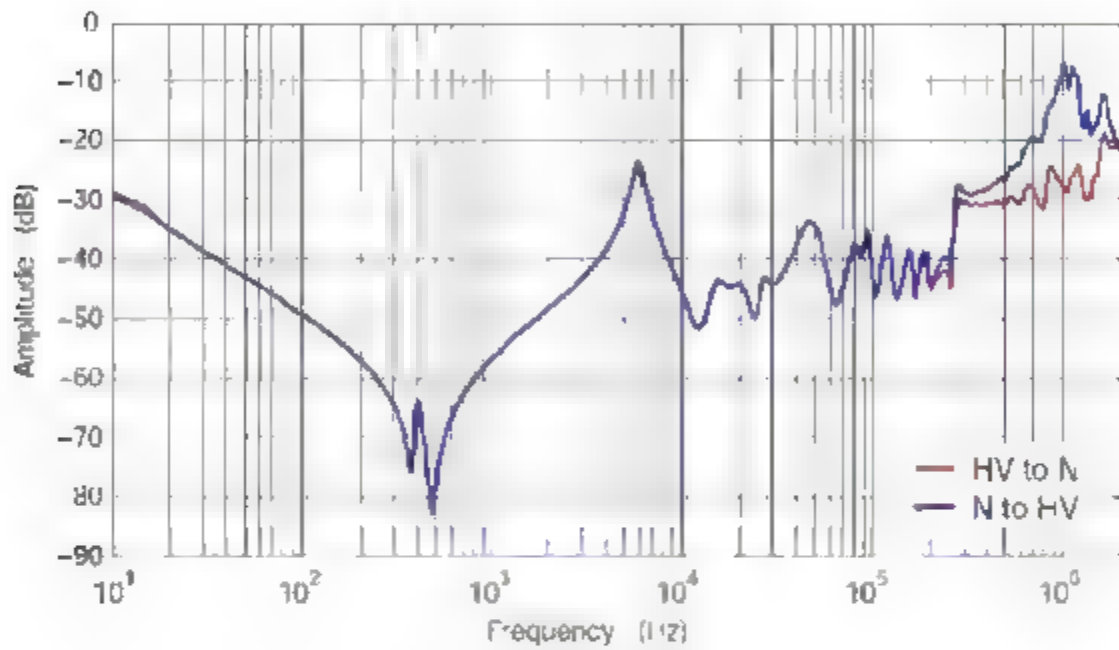
من المعروف أن درجة الحرارة تؤثر على نتيجة هذا الفحص خاصة إذا كان هناك تأثير أكثر من (50°) درجة مئوية كما هو مبين في الشكل (8-40) كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC, 60076-18 2012]، حيث أن التأثير في درجة الحرارة يصبح أكثر وضوحاً في مقاومة مداخل المحولات الإمتصاصية لتغير في كثافة وحجم وفانت العزل الخاص بزيوت المحول مما يؤدي بدوره لإختلاف نتيجة هذا الفحص



الشكل رقم (8-40)

10.5 اتجاه القياسات – Measurement direction

كما ذكر سابقاً أن اتجاه الفحص (تطبيق موجة الفحص على أطراف الخط (Line) وقياسها من نقطة لتعادل (Neutral) أو العكس) لا يؤثر على نتيجة الفحص وذلك عند فحص الملفات لموصولة على شكل نجمة (Star/Y)، ولكن هذا لا يعني عدم وجود اختلاف في نتيجة الفحص خاصة لترددات المرتفعة كما هو مبين في الشكل (8-41) كما ورد في المعيار الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC, 60076-18, 2012)، لذلك يُنصح باستخدام نفس توصيله الفحص المستخدمة في الفحوصات السابقة المقارنة بها



الشكل رقم (8-41)

11. فحوصات إضافية داخمة

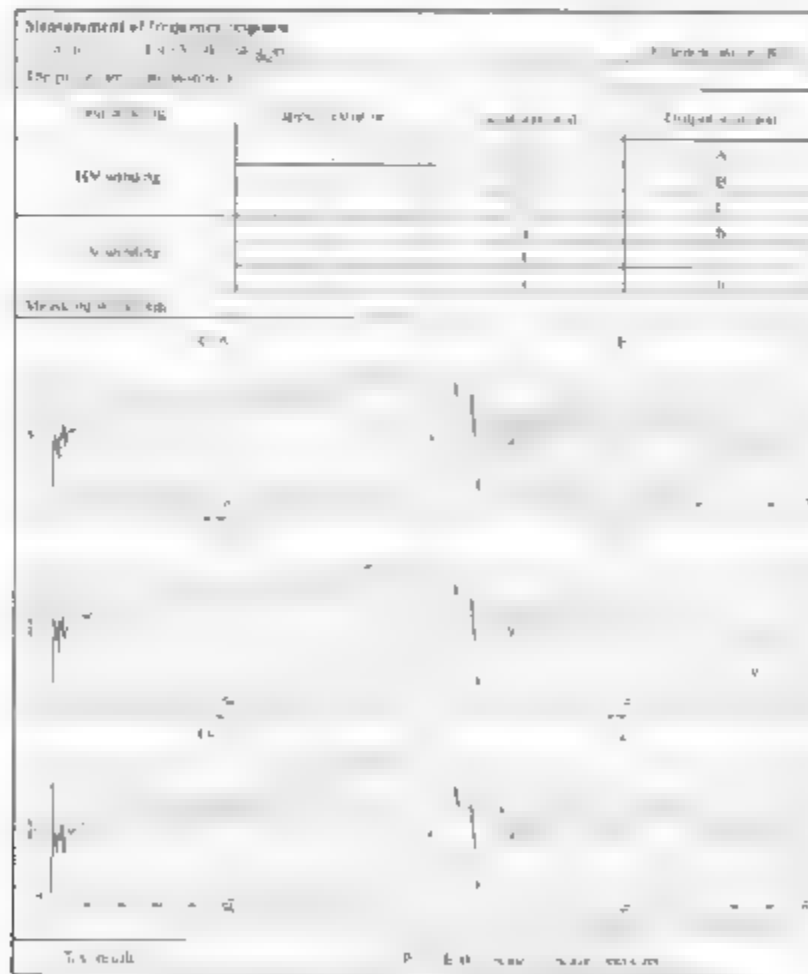
تعتبر المحولات من المعدات ذات الأهمية القصوى في المنظومة الكهربائية لما لها من دور في ديمومة سير العمل الكهربائي عن طريق ربط عناصر المنظومة الكهربائية جميعها بالإضافة إلى تكلفتها المادية المرتفعة، لذلك لا يمكن الاعتماد على فحص واحد لتقييم حالة المحول ولذا، تعمل الإجراءات التصحيحية بعد المحول، بل يجب عمل فحوصات أخرى من شأنها تأكيد ما به الكشف عنه في هذا الفحص وتحديد نوع العطل بالصيغة ثم بعد ذلك يُنصح بعمل إجراءات تصحيحية اللازم لهذا المحول والذي قد يتطلب التواصل مع مُصنِّع هذا المحول

بعد إجراء فحص تحميل الاستجابة لترددية المسحي (SFRA) وكانت نتائج الفحص غير مُرضية بعد تحليلها وفقاً لما تم شرحه من قبل، فإنه يجب ملاحظة فحص هذا التأكد من جميع خطوات الفحص ومراجعتها تحسب الأمور التي تؤثر على نتيجة هذا الفحص، وفي حال الحصول على نتيجة أخرى غير مُرضية لا تُصبح بوضع المحول داخله قبل عمل تفقد دخلي بالإضافة إلى عمل الإجراءات التصحيحية اللازمة ولكن لا تُد من إجراء بعض الفحوصات الأخرى وفقاً لنوع العطل المُكتشف من خلال هذا الفحص فيما إذا كان فحص الملفات أو القلب الحديدي أو غيرها من الأعطال كالآتي.

- فحص الفولتية المنخفضة التثضي/التفقي - (LVFI) Low Voltage Impulse؛ وذلك للكشف عن الحالة الفيزيائية للقلب الحديدي وكذلك ملفات المحول.
- فحص مُفاعلة التسرب - Leakage Reactance test؛ وذلك للكشف عن الحالة الفيزيائية للقلب الحديدي وكذلك ملفات المحول.
- فحص تيار التهيج - Excitation system test؛ وذلك للكشف عن حالة الفيزيائية للقلب الحديدي.
- فحص المواسعة (Overall Capacitance)؛ وذلك للكشف أيضاً عن الحالة الفيزيائية للقلب الحديدي وملفات المحول، ولكن هناك عدد من عوامل من شأنها التأثير على قيمة المواسعة غير تشوُّ الملفات مثل درجة الحرارة، بالإضافة إلى أن حساسية فحص المواسعة ليست كبيرة أي أن تشوُّه أو راحة كبيرة في الملفات قد لا تظهر في فحص المواسعة أو قد تعطي بعضاً ضعيفاً على قيمة المواسعة المقاسة.

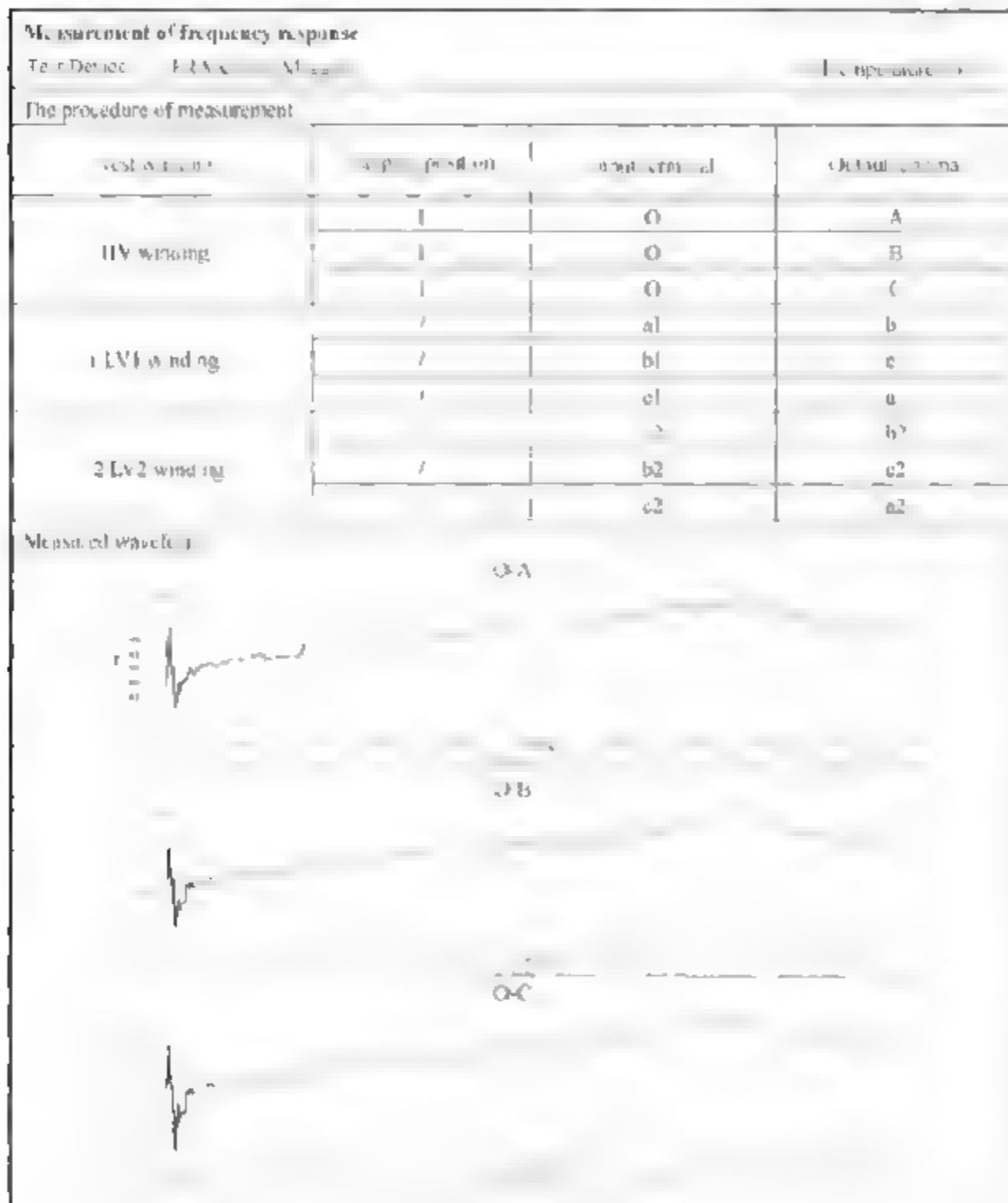
12. أمثلة على نتائج فحوصات مصنعية

- 12.1 المثال الأول: الشكل (8-42) يُبين قيم فحص تحليل استجابة ترددية مسحي (SFRA) مُصنعي (FAT) محول ثلاثي الأطوار ثنائي المراحل (Three Phase Two Winding) مُوصول بطريقة (YNd11) ذو مُقَوِّر خطوة من نوع (OLTC).

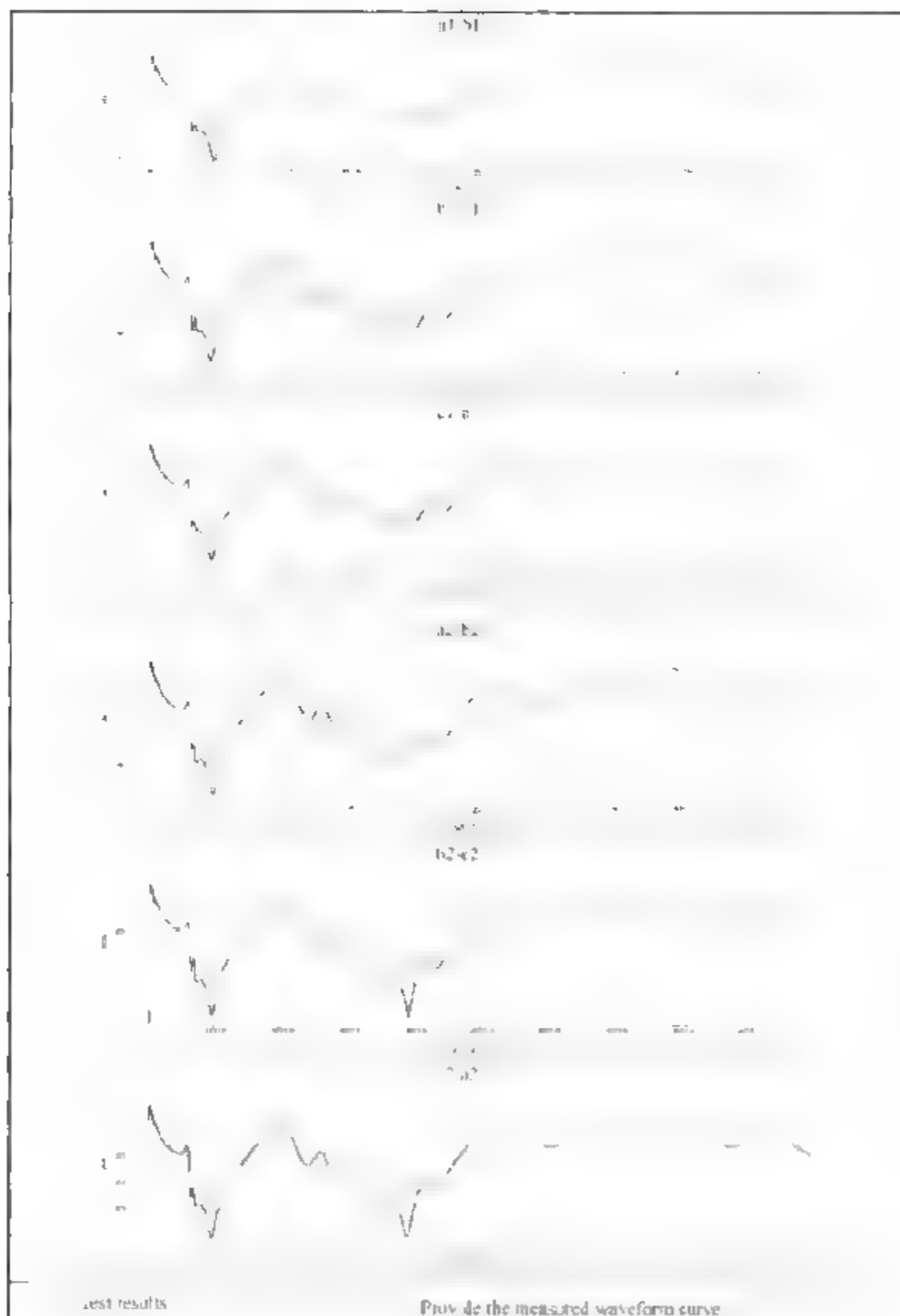


الشكل رقم (8-42)

12.2 المثال الثاني: الأشكال (8-43) تُبين قيم فحص إستجابة تردد مسيحي (SFRA) قصبي (FAT) محول ثلاثي لأصوار ثلاثي الملفات (Three Phase Tertiary Winding) موصول طريقه (YNd11-d11) ذو معيار خطوة من نوع (OLTC)



الشكل رقم (8-43)



الشكل رقم (8-44)

الملحق (8-1)

تنويه

يضم هذا الملحق خطوات الفحص وتوصيلاته بالإضافة إلى الخطوات التشغيلية للجهاز بشكل مبسط إستناداً على الخبرة بالتعامل مع هذه الأجهزة، وتُجدر الإشارة أنه في حال استخدام جهاز الفحص المشار إليه في هذا الملحق لا يجب الإعتماد على هذا الملحق فقط، بل يجب قراءة الكتيبات التفصيلية الخاصة بهذا الجهاز والمزودة بواسطة الشركة المُصنعة للجهاز جـ_____داً وخصوصاً الخطوات التشغيلية و السلامة العامة

فحص تحليل الإستجابة الترددية المُسحي باستخدام جهاز FRAX 99 by MEGGER



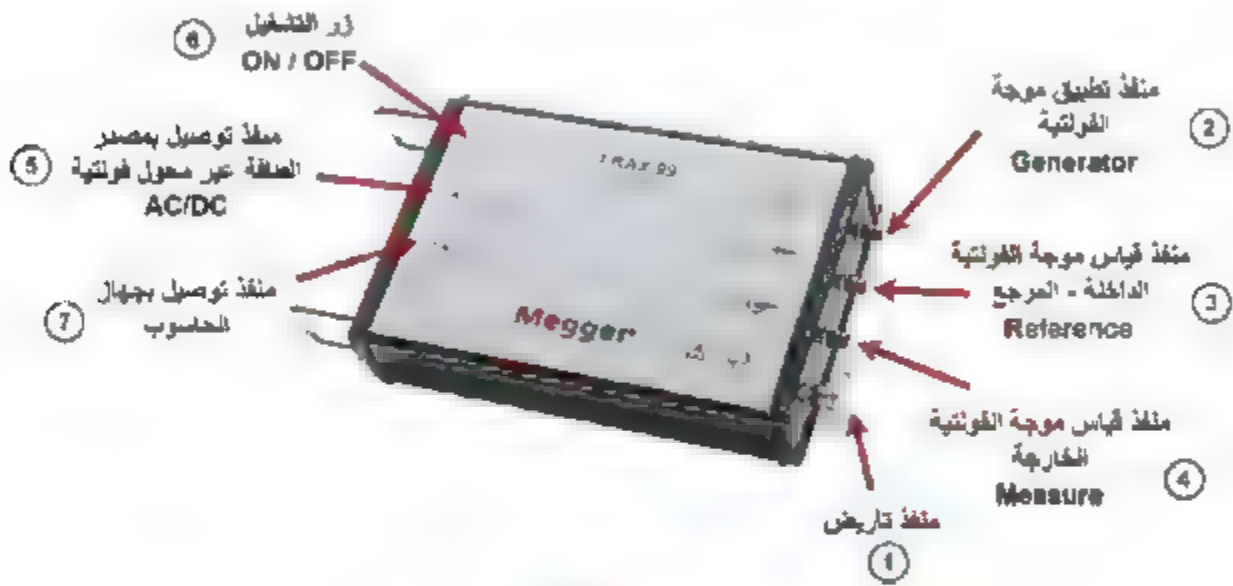
الشكل رقم (8-1-1)

• مواصفات الجهاز: حسب (FRAX Brochure)

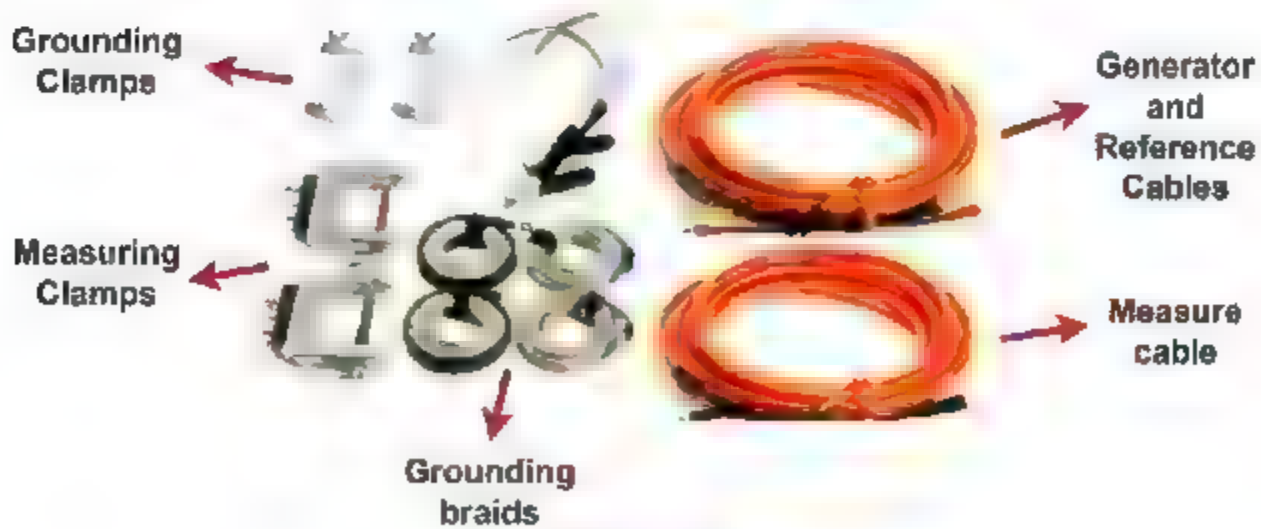
- فولتية المدخل الاسمية : 11 - 16 Vdc, 25 W
- نطاق التردد : 0.1 Hz - 25 MHz
- دقة التردد : 0.01%
- الفولتية : 20 Vp-p
- معاوقة المدخل : 50 Ω
- معاوقة المخرج : 50 Ω
- بيئة تشغيلية المحيطة : -4° F to 131° F (-20° C to 55° C) RH to 95%, Non condensing
- بيئة التخزين : -22 to 158° F (-30 to +70° C)
- أبعاد الجهاز : 250 x 169 x 52 mm
- وزن الجهاز : 1.4 lb. (3.1 kg), without battery

• خطوات الفحص بواسطة هذا الجهاز:

1. لتأكد من تطبيق الخطوات (5.1 إلى 5.9) في فقره خطوات لفحص من فصل فحص تحليل
لإستجابة الترددية القسحي (SFRA).
2. لتأكد من أن الدائرة المفرد فحصها غير مكثرة وعدم وجود احتمالية لكهرتها أثناء الفحص
3. لتأكد من أن أسلاك التوصيل الخاصة بجهاز الفحص (Test leads) وكذلك امشايك خاصة بها
(Clamps) في حالة جيدة وغير متسخة ولا تعاني من أنه ضرر فيزيائية كاشقوق و لكسور
4. تجنب لمس دائرة الفحص أثناء إجراء الفحص أو بعده، إلا بعد التأكد من عدم وجود فولتية
5. لتأكد من أن جهاز الفحص المفرد يستخدمه معاير (Calibrated)
6. قبل البدء بفحص يُفحص المعرف على أحشاء جهاز الفحص من أزرار ومفاصل كما هو مبين بالشكل
(8-1-2)، بالإضافة للشكل (8-1-3) الذي يوضح الكوابل المرفدة مع جهاز الفحص.



الشكل رقم (8-1-2)

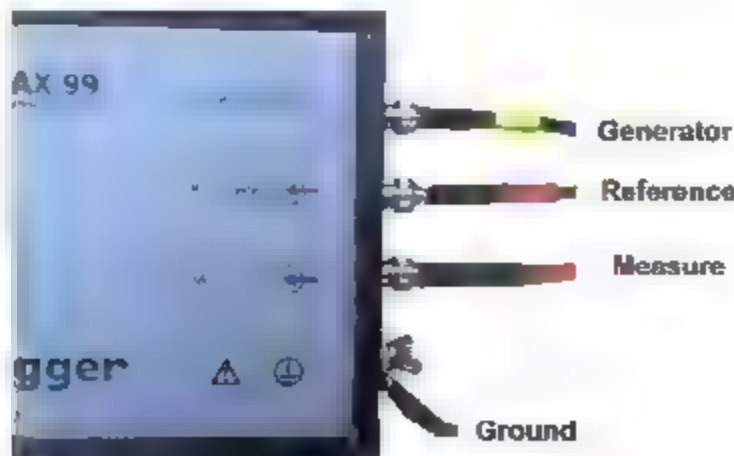


الشكل رقم (8-1-3)



تحذير: لا نَقَم باستخدام جهاز الفحص في الأجواء القابلة للإنتفجار، بالإضافة للأجواء الماطرة والمذبحه

- 7 تهيئة منطقة الفحص عبر مراعاة الأمور التالية.
 - 7.1 التأكد من أن منطقة الفحص جافة قدر الإمكان.
 - 7.2 التأكد من عدم وجود مواد قابلة للإشعال في منطقة الفحص.
 - 7.3 التأكد من لتهويه الجيدة لمنطقة الفحص فيما إذا كانت مغلقة
 - 7.4 التأكد من سلامة نظام التأريض في منطقة الفحص.
- 8 توصيل جهاز فحص بالأرض (Local station earth) عبر منفذ التأريض رقم (1) في الشكل (8-1-1)
 - (2) بواسطة كابل الفور مع الحذر من قبل الشركة المُصنعة (يجب أن يكون كابل التأريض أول كابل يتم وصله بالجهاز وأجر كابل يتم إزالته عن الجهاز)
- 9 التأكد من أن خرطوم المحول موصول بالأرض (Local station earth) عبر مسار تأريض ذو مُعاوَدة قليلة (Low Impedance)
- 10 التأكد من أن كابل الأرضي مصدر الطاقة الكهربائي الخاص بجهاز فحص موصول بالأرض (Local station earth) بمُعاوَدة قليلة (Low Impedance) في حال عدم تشغيل جهاز بالإعتماد على بطارية الخاصة به
- 11 توصيل الكوابل بجهاز الفحص عبر المرابط من النوع (BNC connector) لكل من الكوابل التالية:
 - 11.1 توصيل كابل مولد الموجه (Generator) المُشار إليه باللون الأصفر بالمفرد رقم (2) المبين في الشكل (8-1-2).
 - 11.2 توصيل كابل قياس موجه الفحص المرجعيه (Reference) المُشار إليه باللون الأحمر بالمفرد رقم (3) المبين في الشكل (8-1-2)
 - 11.3 توصيل كابل قياس موجه المحرك (Measure) المُشار إليه باللون الأسود بالمفرد رقم (4) المبين في الشكل (8-1-2).



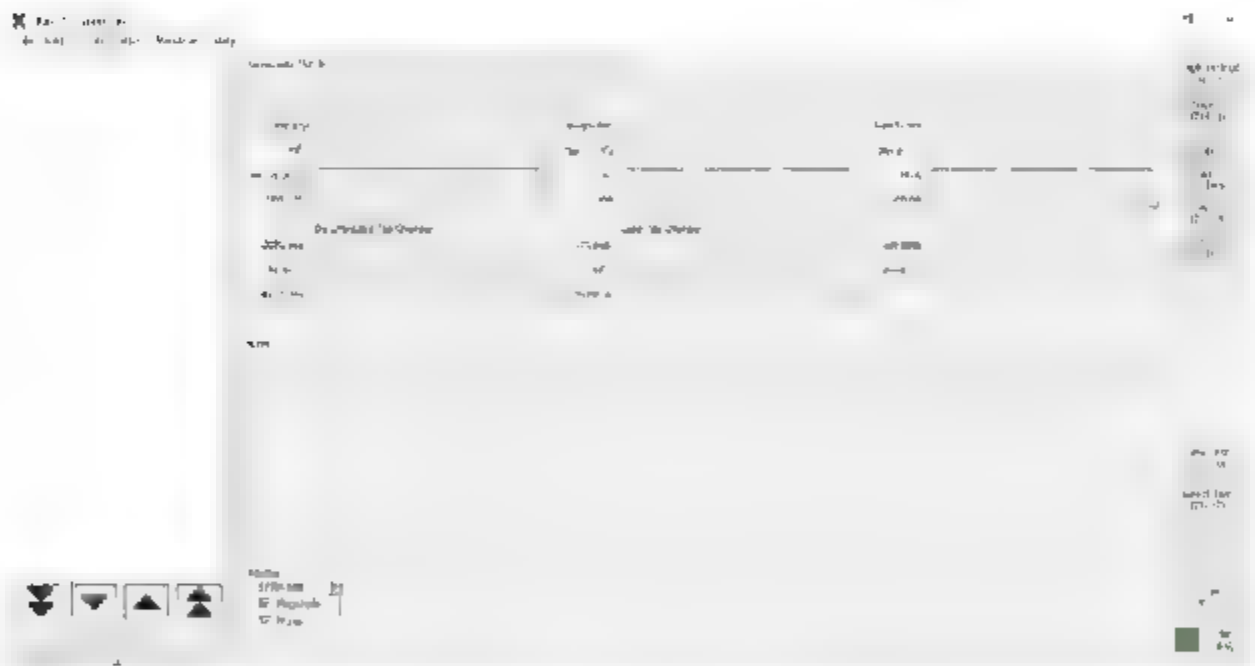
الشكل رقم (8-1-4)

12. توصيل أسلاك محول الفولتية (AC/DC) على مصدر الطاقة رقم (5) المبين في الشكل (8-1-1) وكذلك توصيل محول الفولتية بمصدر الطاقة الرئيسي (AC)
13. توصيل جهاز المحص بجهاز الحاسوب بواسطة كابل (USB) عبر العدد رقم (8-1-7)
14. تشغيل الجهاز بواسطة زر التشغيل رقم (6) في الشكل (8-1-2).
15. تشغيل البرنامج الخاص بجهاز المحص (FRAX v2.5) بالضغط على أيقونة الظاهرة في الشكل (8-1-5) أدناه



الشكل رقم (8-1-5)

16. بعد تشغيل برنامج مستظهر الشاشة المبينة في الشكل (8-1-6) والتي يظهر فيها على شرط العنوان (Title bar) أعلى لشاشته أن جهاز المحص غير متوصّل بجهاز الحاسوب (FRAX (Disconnected))



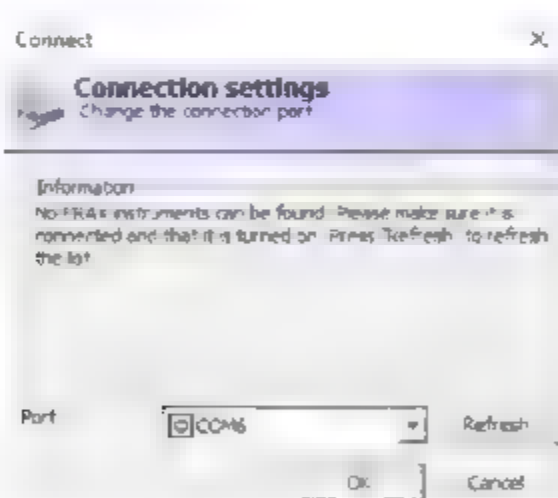
الشكل رقم (8-1-6)

17. نقوم بالضغط على زر (Connect) لتوصيل جهاز المحص بجهاز الحاسوب فتعزير بجاءه على شرط ليعنون ويصبح (FRAX (Connected)) كما يظهر في الشكل (8-1-7)



الشكل رقم (8-1-7)

في حال حدوث خطأ في التوصيل ستظهر لائحة الظاهرة في الشكل (8-1-8) أدناه، والتي منها يتم اختيار
 اسمها المناسب وسدّة ما تكون هي أن علامة حمراء بجانب اسمها بعد ذلك يتم الضغط على زر
 الموافقة (OK)



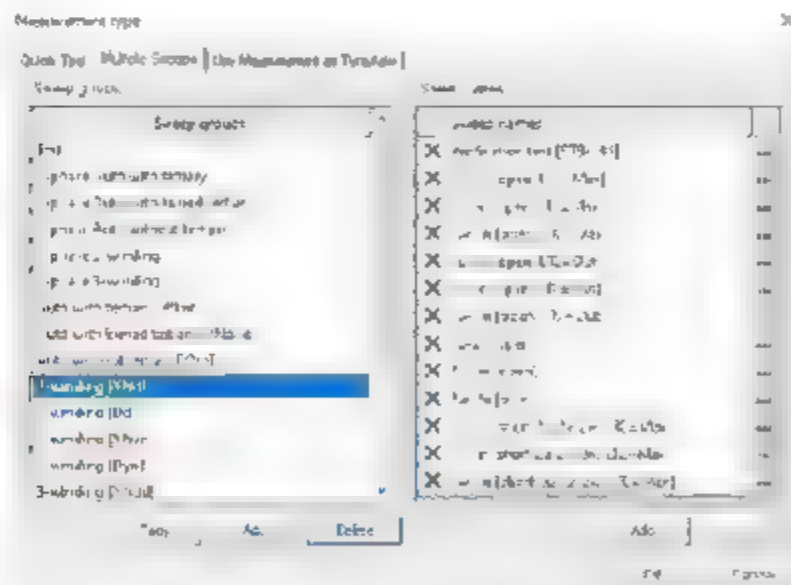
الشكل رقم (8-1-8)

18 تحديد إعدادات الفحص الجديد بالضغط على زر (New Test) الظاهر في الشكل (8-1-6) لظهور
 نافذة الممتدة في الشكل (8-1-9) والتي يكون على علامة التثبيت (Quick Test) التي من خلالها
 يمكن إجراء فحص واحد فقط (Single sweep)



الشكل رقم (8-1-9)

19 حينئذٍ علامة السويب (Multiple Sweeps) التي من خلالها يُمكن إجراء أكثر من فحص بحيث يتم تحديد المحوصات والأسماء التي سيتم إجراء الفحص بها وفقاً لموضع المحول فيما إذا كان أحادي الطور أو ثلاثي الطور بالإضافة لعدد الملفات فيما إذا كان ثنائي الملفات أو ثلاثي الملفات كما يظهر بالشكل (8-1-10) حيث تم اختيار المحول ثلاثي الطور في الملفات دو التوصيله (Ynd) وبعد ذلك يقوم البرنامج بعرض بعض الأساليب التي يُمكن إجراء الفحص بها والتي يُمكن الإضافة عليها أو حذفها ومن ثم يتم الضغط على زر الموافقة (OK)



الشكل رقم (8-1-10)

20 بعد ذلك نعرض لقائمة الممتدة بالشكل (8-1-11) وخصائص بيانات المحول المراد فحصه بالإضافة لمعلومات الممتدة المحيطة من درجة حرارة ورطوبة، ثم يتم الضغط على زر الموافقة (OK)

Unit1 - GSUT - 12/7/2022

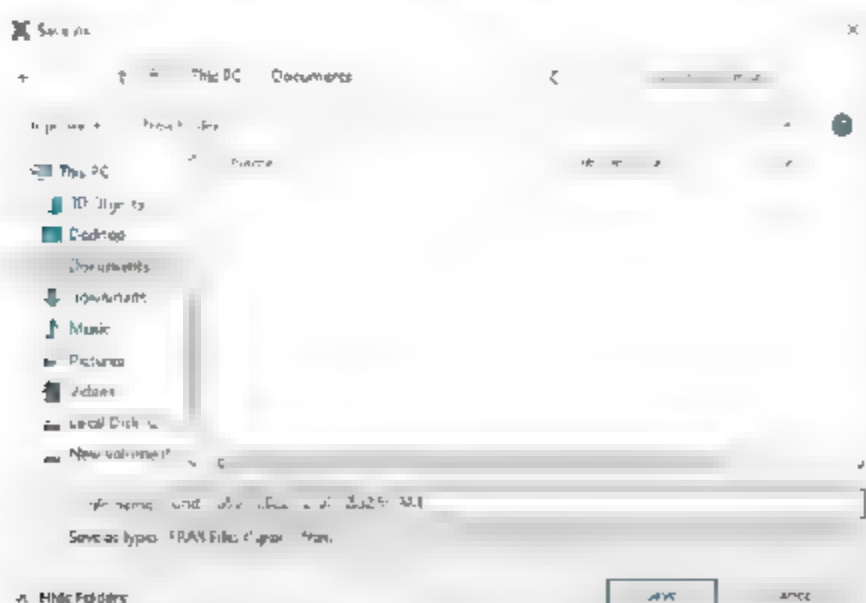
Company: unpar, Inc.	Description: GS	Subscription: Unit 1
Unit: 10424R	Year of Mfg: 1	Serial No.: 10424R
Model Group: VFD, 10-30 HP	Lot: 10424R	Price: \$0.00
Size (kg): 99%	Type: 06 Inverter	Cooling: ON
De Energized Tag Change:	Local Tag Change:	Rate Code: 10.00
OT: 001	Time: 1	Weather: 10.00
Alt. Weight: 2.5	Weight: 32%	
Tag of Layer: 24	Tester by: Mohamed Asaf	

Notes:

OK Cancel

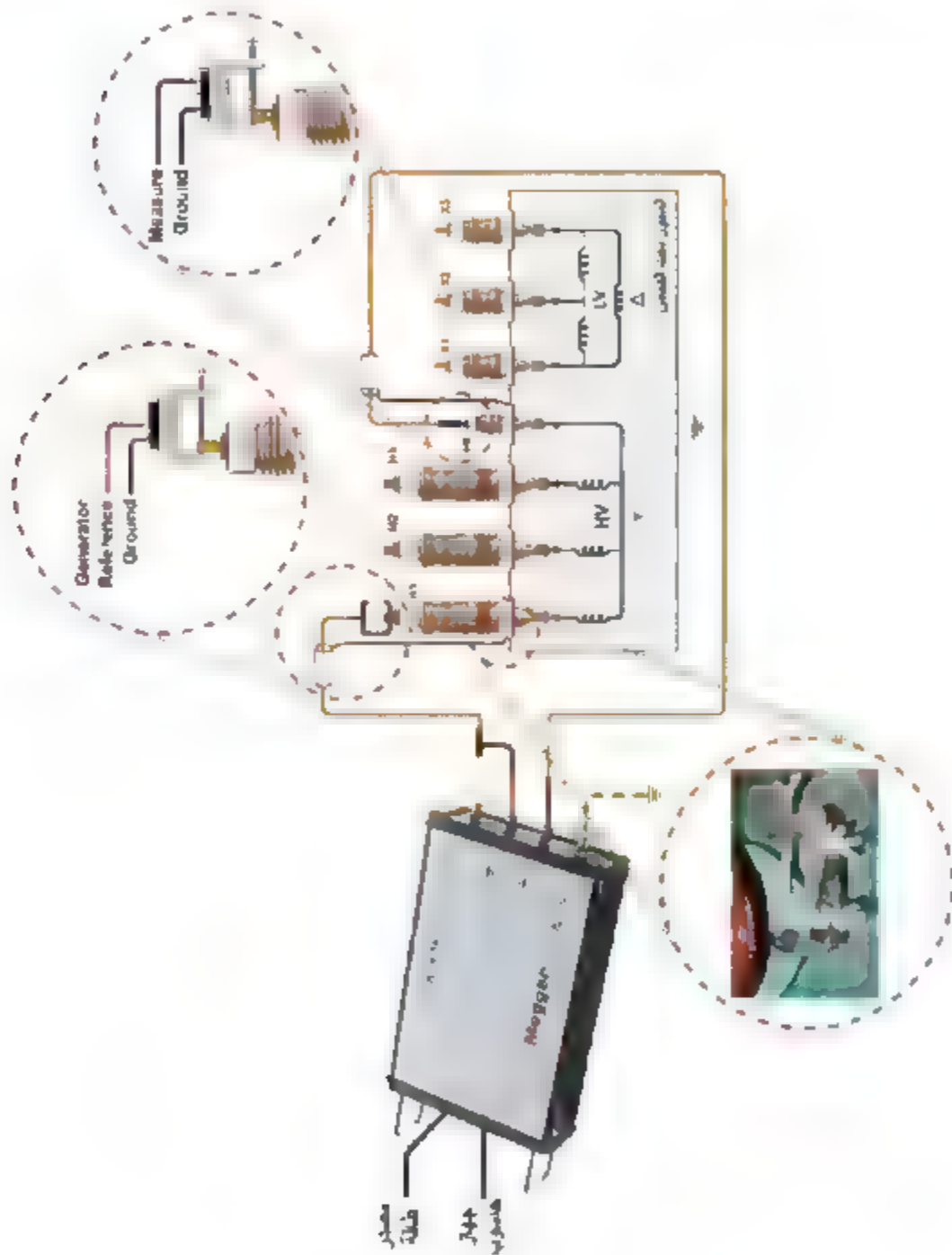
الشكل رقم (8-11)

21 بعد ذلك تظهر النافذة المُنسقة بالشكل (8-12) والتي من خلالها يتم تحديد مكان حفظ الملف الشخصي الجديد، الذي تم إنشاؤه بصيغة (*pax *.frax) ومن ثم الضغط على زر حفظ (Save)



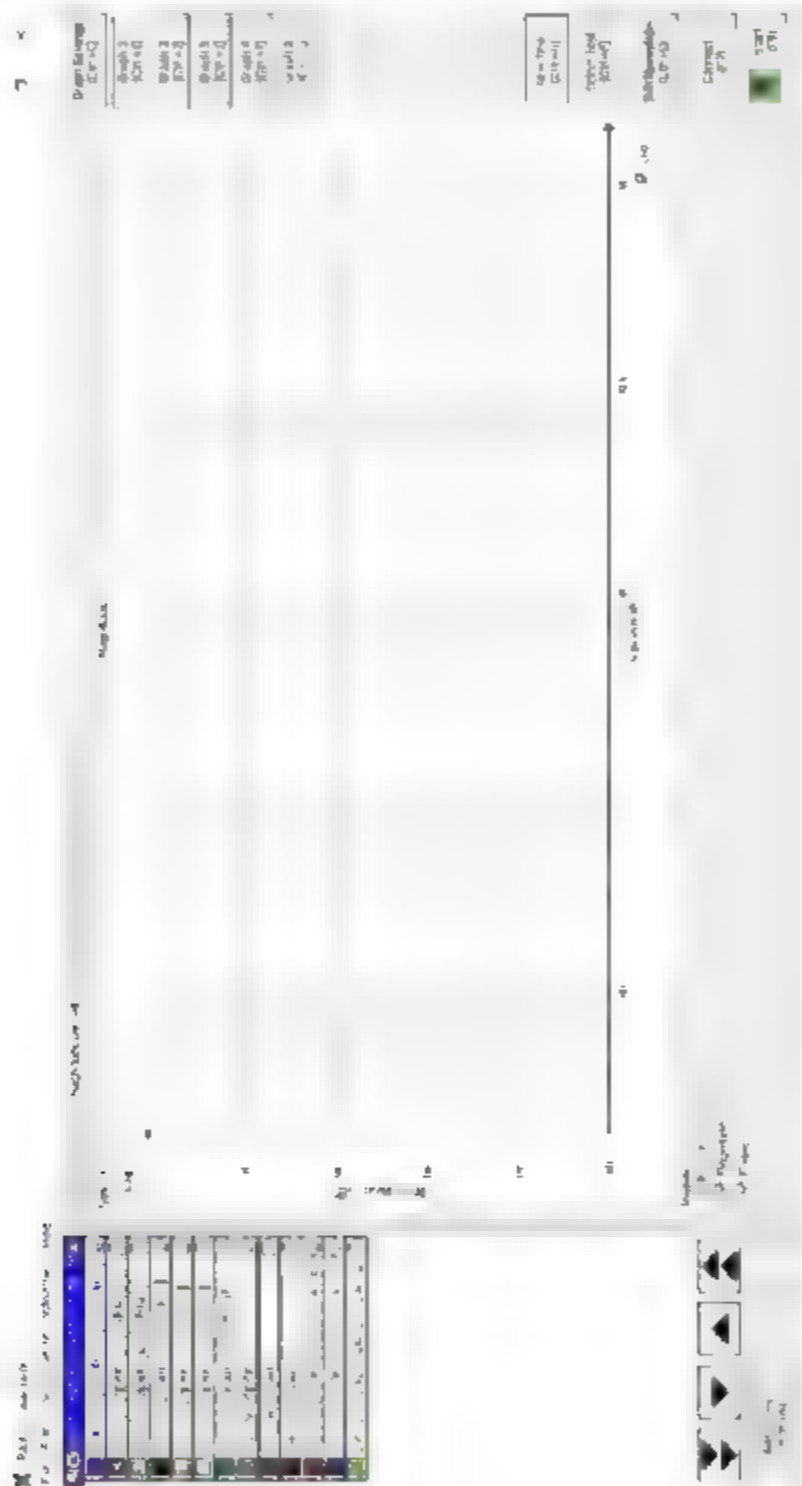
الشكل رقم (8-12)

22 توصيل كوس لفحص بالمحول كما هو مبين بالشكل (8-1-13) والذي يوضح التوصيلة المناسبة لفحص على الطور الأول بأسلوب (End to end open circuit)



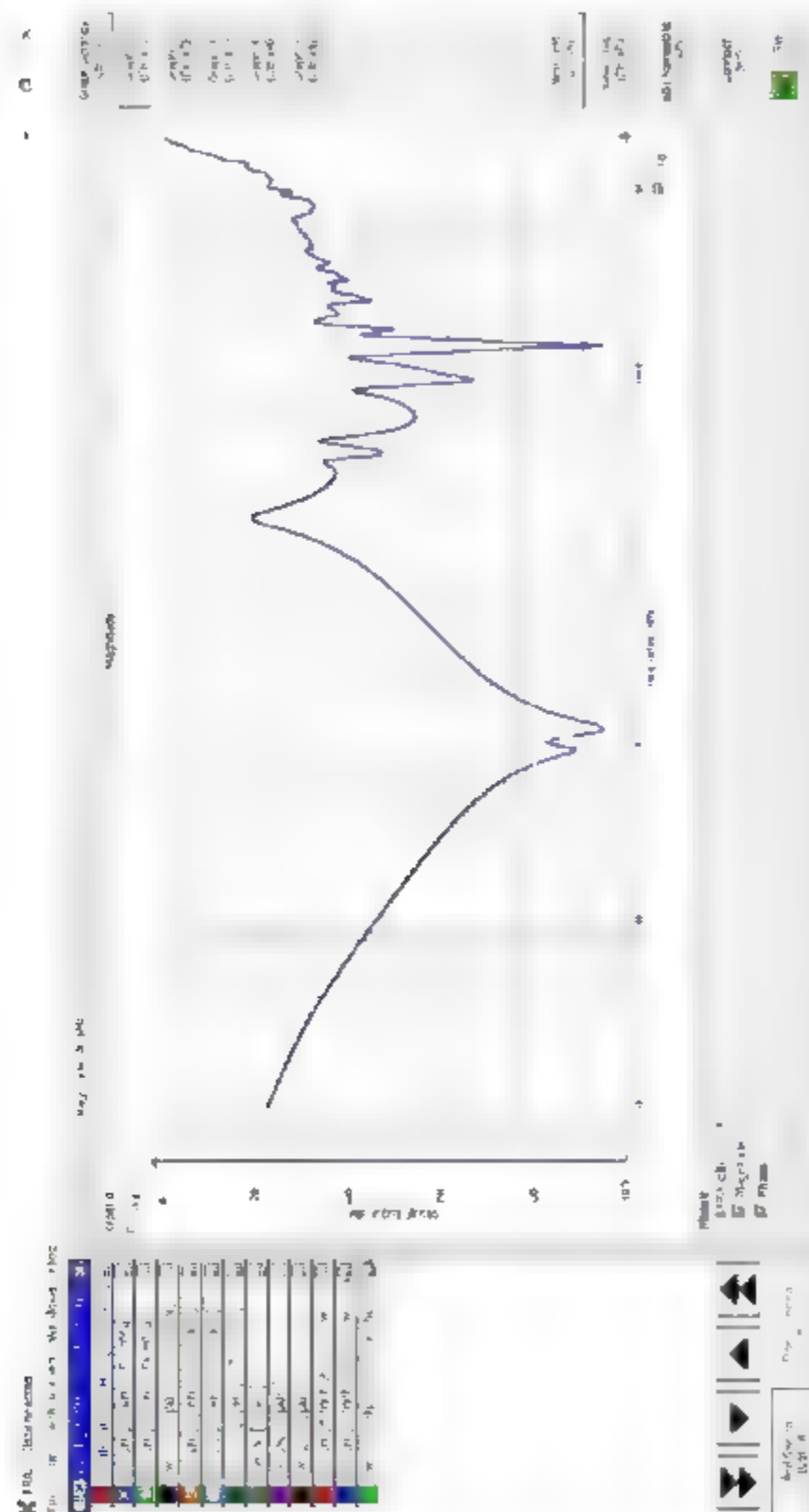
الشكل رقم (8-1-13)

23 نحدد الفحص المراد البدء به بوضع علامة (X) بجانبه وذلك بعد التأكد من وصفيته المناسبة ومن ثم لصعظ على زر بدء (Start) أسفل اليمن الشاشة لبدء الفحص كما هو مبين بالشكل (8-14).



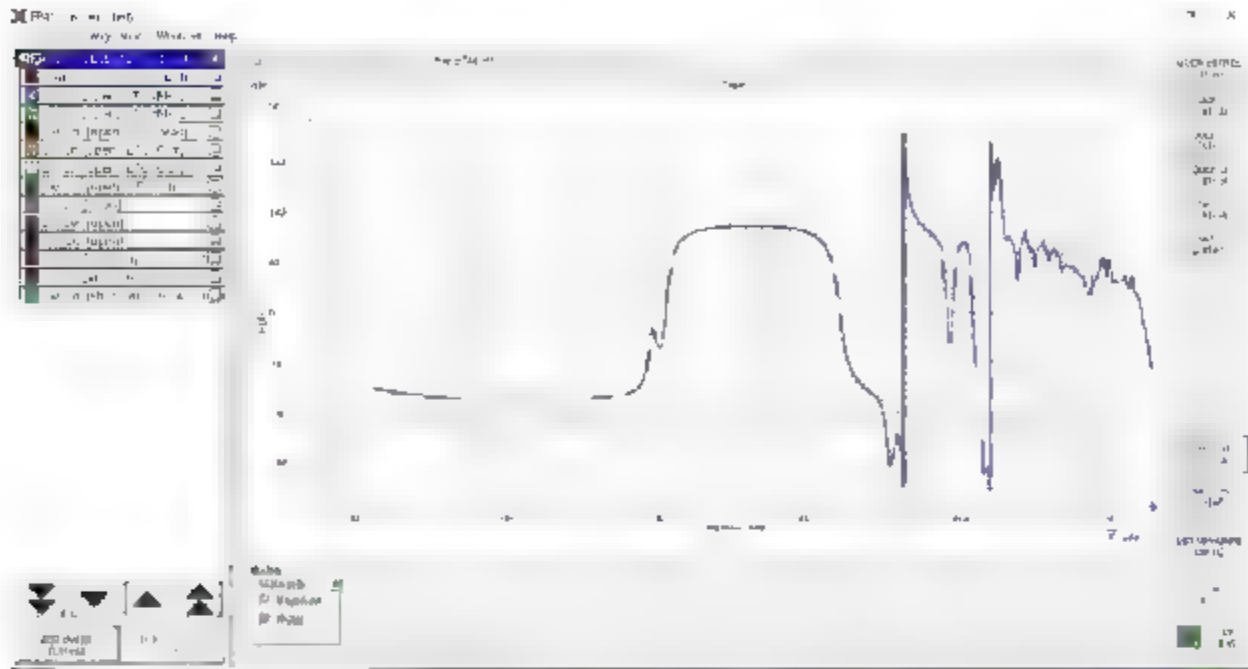
الشكل رقم (8-14)

24 بعد انتهاء المحضر يظهر الرسم الممنون بالشكل (8-15) والخاصة برسمه لبيعة أو المبتدأ (Magnitude) بعدها يمكن الإنعزال المحضر التالي وجرده بنفس الأسلوب



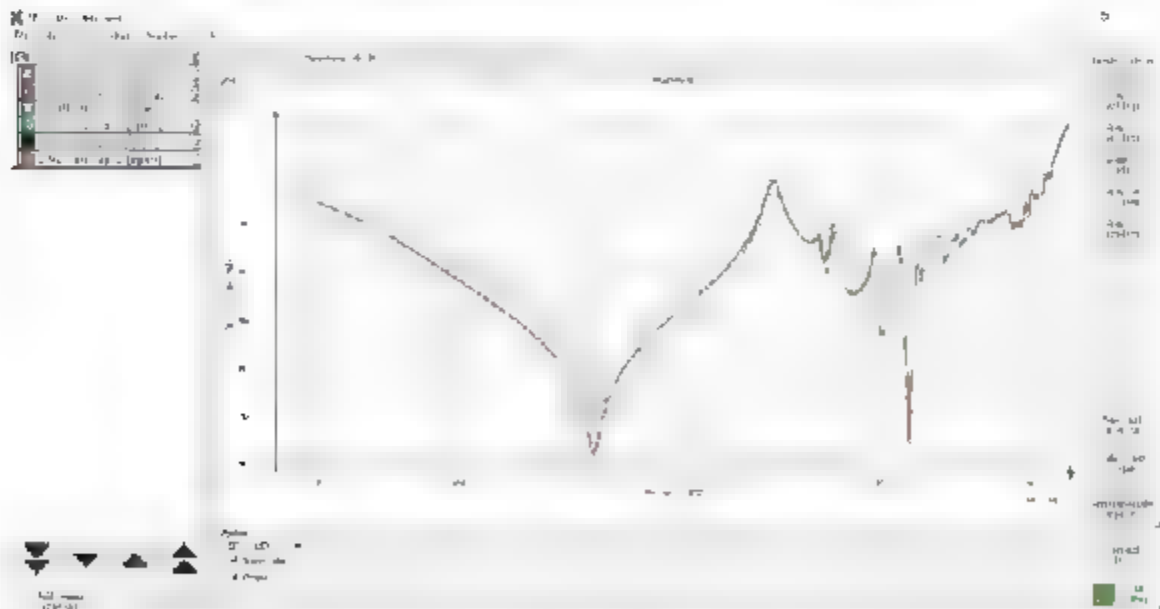
الشكل رقم (8-15)

أما فيما يخص رسمه فرق الطور (Phase) فإنه يُمكن الإقتداء إلى علامة السويب (Phase) المظهرة في شكل (8-15) أعلاه لإتقال لشاشة رسمه فرق الطور المظهرة في شكل (8-16)



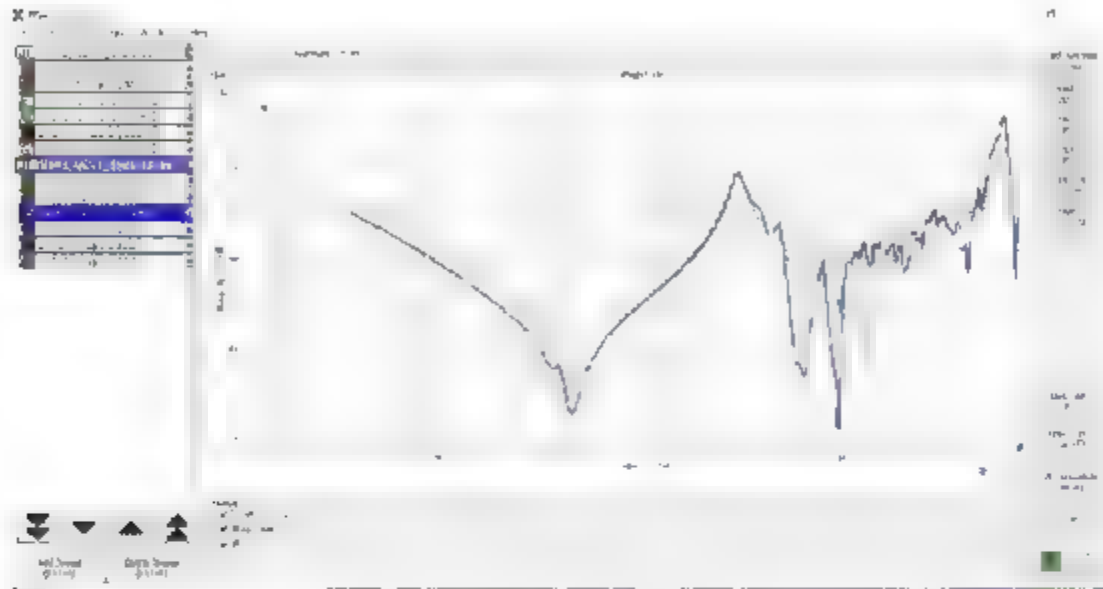
الشكل رقم (8-16)

25 يُمكن مقارنة رسمه الفحص بين الأنوار الثلاثة وذلك بوضع علامة (x) في المربع السويب بجانب محوسب الأنوار الثلاثة ويتم بذلك ما سيحدث على نفس الرسمه بإيات المقارنة كما هو مبين في شكل (8-17).



الشكل رقم (8-17)

26 ولعمل مقارنة بين فحوصات سابقة بعد الانتهاء من الفحص يتم تحميل ملف لفحوصات السابقة عن طريق قائمة ملف (File) ونحسب تحميل فحص (Load Test) بعد تحديد الفحص السابق المراد تحميله ومن ثم اضغط على زر فتح (Open) لتظهر لنا شاشة نميئة بالشكل (8-1-18) والتي من خلالها يُمكن تحديد الفحوصات الفراد مقارنتها ببعضها بوضع علامة (X) بجانب الفحص لتظهر رسمته



الشكل رقم (8-1-18)

ملحوظة بدعم هذا العنصر تشغيل ملفات الفحص ذات لإصدارات المصنعة كذلك المصادر عن أجهزة الفحص المصنعة بواسطة شركات أخرى كشركة (Omicron) و (Doble) وغيرها من ملفات الفحص.



الملحق (2-8)

لجدول أدناه يضم ملخص بعض "عطلات" المحولات وتأثيرها على نتيجة فحص الاستجابة الترددية وفقاً لمجموعة من المعايير والدراسات والنشر المسية كـ ورد في "طروحة الدكتوراة" في جامعة كوينزلاند [Mohd Yousaf, Frequency Response Analysis for Transformer Winding Condition Monitoring – University of Queensland]

Components	Conditions	Frequency sensitivity
Main winding	Deformation within the main or top windings	20k to 400k
	Movement of the main and top winding	400k to 1M
	Bulk winding movement between windings and clamping structure	2k to 20k
	Axial deformations of each single winding	>400k
	Disc space variation	>100k
		>50k
	Radial deformation or movement	>100k
		5k to 500k
		>200k
	Shorted turns	<2k
		<10k
	Axial displacement	>500k
		>100k
Core	Core deformation	<2k
	Magnetic core and circuits	<10k
Test leads	Variations in grounding practices for test leads	>2M
Others	Poor grounding condition at site	>500k
	Ground impedance variation	400k to 1M
	Residual magnetism	<2k
	Bushings	>1m

الملحق (3-8)

يُضم الجدور أدناه لفحوصات التي يُمكن إجراؤها للمحولات ثلاثية لطور ثنائية المصمت (Three phase two winding) وثلاثية الطور ثلاثية الملفات (Three phase tertiary winding) وما يُصبح بإجراؤه على الأقل وفقاً لمعهد مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات [IEEE, C57.149-2012].

المحولات ثلاثية الطور ثنائية الملفات

Table 1—Two winding transformers – 15 tests

Test type	Test #	3 ϕ Y-Y Group 2 0 \rightarrow 30° LAG	3 ϕ Y-Y Group 2 0 \rightarrow 30° L AG	3 ϕ A-A Group 1 0 \rightarrow 0°	3 ϕ V-V Group 1 0 \rightarrow 0°	1 ϕ
HV Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	1	H1-H3	H1-H0	H1-H3	H1-H0	H1-2 (H1-H0)
	2	H2-H1	H2-H0	H2-H1	H2-H0	
	3	H3-H2	H3-H0	H3-H2	H3-H0	
LV Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	4	X1-X0	X1-X3	X1-X3	X1-X0	X1-X2
	5	X2-X0	X2-X3	X2-X1	X2-X0	X1-X0
	6	X3-X0	X3-X1	X3-X2	X3-X0	
Short Circuit (SC) Short (X1-X2-X3) ^a	7	H1-H3	H1-H0	H1-H3	H1-H0	H1-H2
	8	H2-H1	H2-H0	H2-H1	H2-H0	Short
	9	H3-H2	H3-H0	H3-H2	H3-H0	X1-X3 ^a
Capacitive Inter-Winding All Other Terminals Floating	10	H1-X1	H1-X3	H1-X1	H1-X3	H1-X3
	11	H2-X2	H2-X3	H2-X2	H2-X3	
	12	H3-X3	H3-X3	H3-X3	H3-X3	
Inductive Inter-Winding High (H) to Low (L) Ground (H- and X-) ^b	13	H1-X1	H1-X1	H1-X1	H1-X1	H1-X1
	14	H2-X2	H2-X3	H2-X2	H2-X2	Ground
	15	H3-X3	H3-X3	H3-X3	H3-X3	(H2-X2)

^aIndicates short circuit tests terminals are shorted together, but not grounded. The neutral is not intended for 3 ϕ V-V connections, but may be included for 1 ϕ connections.

^bDenotes other end of winding opposite of the reference terminal connection.

المحولات ثلاثية الطور ثلاثية الملفات الجزء الأول

Table 5—Three winding transformer Part 1 – 36 tests

Test type	Test #	3 ϕ Δ - Δ - Δ Group 1 0° → 0°	3 ϕ Δ - Δ - Δ Group 2 0° → 30° LAG	3 ϕ Δ - Δ - Δ Group 2 0° → 30° LAG	3 ϕ Δ - Δ - Δ Group 2 0° → 30° LAG	1 ϕ
HV Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	1	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₂ (H ₁ -H ₀)
	2	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	
	3	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	
LV (X) Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	4	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₂ (X ₁ -X ₀)
	5	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	
	6	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	
LV (Y) Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	7	Y ₁ -Y ₃	Y ₁ -Y ₃	Y ₁ -Y ₃	Y ₁ -Y ₃	Y ₁ -Y ₂ (Y ₁ -Y ₀)
	8	Y ₂ -Y ₁	Y ₂ -Y ₁	Y ₂ -Y ₁	Y ₂ -Y ₁	
	9	Y ₃ -Y ₂	Y ₃ -Y ₂	Y ₃ -Y ₂	Y ₃ -Y ₂	
Short Circuit (SC) High (H) to Low (X) Short [X ₁ -X ₂ -X ₃] ^a	10	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₀ Short X ₁ -X ₂ ^a
	11	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	
	12	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	
Short Circuit (SC) High (H) to Low (Y) Short [Y ₁ -Y ₂ -Y ₃] ^a	13	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₃	H ₁ -H ₀ Short [Y ₁ -Y ₂] ^a
	14	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	H ₂ -H ₁	
	15	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	H ₃ -H ₂	
Short Circuit (SC) Low (X) to Low (Y) Short [Y ₁ -Y ₂ -Y ₃] ^a	16	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₀ Short Y ₁ -Y ₂ ^a
	17	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	X ₂ -X ₁	
	18	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	X ₃ -X ₂	
Capacitive Inter-Winding High (H) to Low (X) All Terminals Float	19	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁
	20	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	
	21	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	
Capacitive Inter-Winding High (H) to Low (Y) All Terminals Float	22	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁
	23	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	
	24	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	
Capacitive Inter-Winding Low (X) to Low (Y) All Terminals Float	25	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁
	26	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	
	27	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	
Inductive Inter-Winding High (H) to Low (X) Ground H- and X- ^b	28	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁	H ₁ -X ₁ Ground [H ₂ , X ₂]
	29	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	H ₂ -X ₂	
	30	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	H ₃ -X ₃	
Inductive Inter-Winding High (H) to Low (Y) Ground H- and Y- ^b	31	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁	H ₁ -Y ₁ Ground [H ₂ , Y ₂]
	32	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	H ₂ -Y ₂	
	33	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	H ₃ -Y ₃	
Inductive Inter-Winding Low (X) to Low (Y) Ground X- and Y- ^b	34	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁	X ₁ -Y ₁ Ground [X ₂ , Y ₂]
	35	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	X ₂ -Y ₂	
	36	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	X ₃ -Y ₃	

^a and notes short circuit tests, terminals are shorted together, but not grounded. The neutral is not included for 3 ϕ Wye connections, but may be included for 1 ϕ test connections.

^b Denotes other end of winding, opposite of the reference and measure connections.

المحولات ثلاثية الطور ثلاثية الملفات الجزء الثاني

Table 6—Three winding transformer Part 2 – 36 tests

Test type	Test #	3 ϕ Y-Y-Y Group 1 0 \rightarrow 0°	3 ϕ Y-Y-Y Group 2 0 \rightarrow 30° I AG	3 ϕ Y- Δ -Y Group 2 0 \rightarrow 30° I AG	3 ϕ Y- Δ -Y Group 2 0 \rightarrow 30° I AG
HV Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	1	H1-H0	H1-H0	H1-H0	H1-H0
	2	H2-H0	H2-H0	H2-H0	H2-H0
	3	H3-H0	H3-H0	H3-H0	H3-H0
LV (X) Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	4	X1-X0	X1-X0	X1-X2	X1-X2
	5	X2-X0	X2-X0	X2-X3	X2-X3
	6	X3-X0	X3-X0	X3-X1	X3-X1
LV (Y) Open Circuit (OC) All Other Terminals Floating	7	Y1-Y0	Y1-Y2	Y1-Y0	Y1-Y2
	8	Y2-Y0	Y2-Y3	Y2-Y0	Y2-Y3
	9	Y3-Y0	Y3-Y1	Y3-Y0	Y3-Y1
Short Circuit (SC) High (H) to Low (X)	10	H1-H0	H1-H0	H1-H0	H1-H0
	11	H2-H0	H2-H0	H2-H0	H2-H0
Short [X1-X2-X3] ^a	12	H3-H0	H3-H0	H3-H0	H3-H0
Short Circuit (SC) High (H) to Low (Y)	13	H1-H0	H1-H0	H1-H0	H1-H0
	14	H2-H0	H2-H0	H2-H0	H2-H0
Short [Y1-Y2-Y3] ^a	15	H3-H0	H3-H0	H3-H0	H3-H0
Short Circuit (SC) Low (X) to Low (Y)	16	X1-X0	X1-X0	X1-X2	X1-X2
	17	X2-X0	X2-X0	X2-X3	X2-X3
Short [Y1-Y2-Y3] ^a	18	X3-X0	X3-X0	X3-X1	X3-X1
Capacitive Inter-Winding High (H) to Low (X)	19	H1-X1	H1-X1	H1-X1	H1-X1
	20	H2-X2	H2-X2	H2-X2	H2-X2
All Terminals Float	21	H3-X3	H3-X3	H3-X3	H3-X3
Capacitive Inter-Winding High (H) to Low (Y)	22	H1-Y1	H1-Y1	H1-Y1	H1-Y1
	23	H2-Y2	H2-Y2	H2-Y2	H2-Y2
All Terminals Float	24	H3-Y3	H3-Y3	H3-Y3	H3-Y3
Capacitive Inter-Winding Low (X) to Low (Y)	25	X1-Y1	X1-Y1	X1-Y1	X1-Y1
	26	X2-Y2	X2-Y2	X2-Y2	X2-Y2
All Terminals Float	27	X3-Y3	X3-Y3	X3-Y3	X3-Y3
Inductive Inter-Winding High (H) to Low (X)	28	H1-X1	H1-X1	H1-X1	H1-X1
	29	H2-X2	H2-X2	H2-X2	H2-X2
Ground (H- and X-) ^b	30	H3-X3	H3-X3	H3-X3	H3-X3
Inductive Inter-Winding High (H) to Low (Y)	31	H1-Y1	H1-Y1	H1-Y1	H1-Y1
	32	H2-Y2	H2-Y2	H2-Y2	H2-Y2
Ground (H- and Y-) ^b	33	H3-Y3	H3-Y3	H3-Y3	H3-Y3
Inductive Inter-Winding Low (X) to Low (Y)	34	X1-Y1	X1-Y1	X1-Y1	X1-Y1
	35	X2-Y2	X2-Y2	X2-Y2	X2-Y2
Ground (X- and Y-) ^b	36	X3-Y3	X3-Y3	X3-Y3	X3-Y3

^aIndicates short circuit tests: terminals are shorted together, but not grounded. The neutral is not included for Wye connections.

^bDenotes other end of winding, opposite of the reference and measure connections.

قائمة المصطلحات

يضم الجدول مجموعه من المصطلحات وفقاً لترتيب ورودها في هذا الكتاب، حيث تمت الترجمة بالإعتماد على معجم المصطلحات الخاص باللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) وتارة نبعاً للمراجع الكهربائية العربية وتارة أخرى بالإجتهد الشخصي، والهدف من تعريب المصطلحات زيادة الفهم وسائل الله السداد

المصطلح بالإنجليزية	المصطلح بالعربية
Power transformer	محولات قدرة / قوى
Voltage	فولتية / جهد
AC	متردد / متناوب
DC	ثابت / مستمر
Rated	إسمي / كامل
Losses	ضباغات / خسائر / مفاقد
HV winding	ملفات الجوليه المرشعة
LV winding	ملفات الجولتية المنخفضة
Idea transformer	محول مثالي
Actual transformer	محول حقيقي / واقعي
Permeability	نفاذية
Iron core	القلب الحديدي
Hysteresis losses	الصباغات الهستيريه / لسطو
Leakage flux	الفص المتسرب / التسري
Eddy currents	تيارات دوامية
Phasor diagram	المخطط المتجهي / الشعاعي
Peak value	القيمة العظمى
RMS	الجذر التربيعي لمتوسط مربعه
Angular speed	السرعة الزاوية
Magnetization Current	تيار مهيج / معطه
Residual magnetism	معدنيسيه متبقية
Stray losses	صباغات شاردة
Circulating currents	تيارات دوارة

عوارل إحتراق / جُلب	Bushings
خزان التمدد / التعويض	Conservator tank
مُشع / مبادل حراري	Radiator
فتة / نوع	Grade
حشيه / حنقن مصاطيه	Gasket
درفلة / سحما	Rolling
رقائق / صفائح	Laminations
ساق / عامود	Limb
فك / عقرن	Yoke
ورنيش	Varnish
مفاعلات حثية	Reactors
ممانعة	Reluctance
وصلة تراكبية	Butted joint
وصلة تراكبية سداسية	Interleaved non-step butted joint
وصلة زوطة	Mitred joint
مُعبّر الخطوة / المولدية / المحدد	Tap changer (OLTC or DETC)
راتنج / رزين	Resin
أنابيب شعيرية	Capillary tubes
مؤشر / شئ حررة	Temperature indicator
فصل قسري	Trip
قرون / فجوة التفريغ	Arcing horn
حارفة / مانعة الصواعق	Surge Arrester
فحص غير تدميري	Non-destructive test
فحص قبول قصدي	Factory Acceptance Test - FAT
فحص قبول موقي	Site Acceptance Test - SAT
كهربية / شحن المحول	Transformer energization
تيار شحن السعوي	Capacitive charging current
التيار الامتصاص من عازل	Dielectric absorption current
التيار المتسرب / الموصل	Conduction or leakage current
تيار التفريغ الجزئي	Partial discharge current
تيار التسرب السطحي	Surface leakage current
مؤشر الإمتصاص	Absorption Index - AI
مؤشر لإمتصاص	Dielectric Absorption Ratio - DAR
مؤشر الإستقطب	Polarization Index
فجوات هوائية	Voids

مجموعه التوصيل	Vector/Connection group
حالة اللاحمل	No-load
مُعاوقه / مُمانعه القصر	Short-circuit impedance
القدرة الفعالة	Active power
القدرة غير الفعالة	Reactive power
القدرة الظاهرية	Apparent power
معامل القدرة	Power Factor - PF
معامل التبدد	Dissipation Factor - DF
مُعايلة التسرب	Leakage Reactance

قائمة المصادر

No.	Reference
1	Paul Gill, Electrical power equipment maintenance and testing second edition
2	Jill C. Duplessis, Electrical field tests for the life management of transformers
3	IEEE Std C57.12.00-2000 (Standard general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers)
4	IEEE Std C57.12.00-2015 (Standard general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers)
5	IEEE Std C57.12.80-2010 (Standard terminology for power and distribution transformers)
6	IEEE Std C57.12.90-2006 (Standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers)
7	IEEE Std C57.12.90-2015 (Standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers)
8	IEEE Std C57.104-2008 (Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers)
9	IEEE Std C57.104-2019 (Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers)
10	IEEE Std C57.106-2015 (Guide for acceptance and maintenance of insulating mineral oil in electrical equipment)
11	IEEE Std C57.131-2012 (Standard requirements for tap changers)
12	IEEE Std C57.152-2013 (Guide for diagnostic field testing of fluid-filled power transformers, regulators, and reactors)
13	IEEE Std C57.19-100-2012 (Guide for application of power apparatus bushings)
14	IEEE Std C57.19.00-2004 (Standard general requirements and test procedure for power apparatus bushings)
15	IEEE Std 1861-2014 (Guide for on-site acceptance tests of electrical equipment and system commissioning of 1000 kV AC and above)
16	IEEE Std 76-1974 (Guide for acceptance and maintenance of transformer Askarel in equipment)
17	IEEE Std 62-2005 (Guide for diagnostic field testing of electric power apparatus-part 1: Oil filled power transformers, regulators, and reactors)
18	IEEE C57.19.01-2017 (Standard for performance characteristics and dimensions for power transformer and reactor bushings)
19	IEEE C57.149-2012 (Guide for the application and interpretation of frequency response analysis for oil-immersed transformers)
20	IEEE Std 43-2013 (IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery)

- 21 IEC 60085-2007 Electrical insulation – Thermal evaluation and designation
- 22 IEC 60076-1 2011 Power transformers – Part 1 General
- 23 IEC 60137-2017 Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V
- 24 IEC, 60076-18 2012 Power transformers – Part 18: Measurements of frequency response
- 25 Mohammed W. Samara, Mohammed S. Assaf "The relationship between very fast transient and solids dielectric thermal breakdown" CIGRE conference, Apr 24, 2018
- 26 Dr. Mahmoud Al Jelani, Power Transformers
الأستاذ الدكتور محمود الجيلاني، المرجع في محولات القوى الكهربائية
- 27 Dr. Camelia Mohammad, Electrical transformers, part 1
الدكتورة كاميليا محمد، المحولات الكهربائية، الجزء الأول
- 28 ABB Ltd, Transformer handbook - 2004
- 29 ABB, Bushing diagnostics and conditioning – Product information 2750 515-142 en, Rev. 1
- 30 ABB, Service handbook for transformers
- 31 ABB, Testing of power transformers, routine tests, type tests and special tests
- 32 AREVA, Power transformers fundamentals, Vol. 1
- 33 AREVA, Power transformers Expertise, Vol. 2
- 34 CIGRE, Guide for transformer maintenance, 445, WGA2.34
- 35 Pavlos S. Georgilakis, Spotlight on Modern Transformer Design-Springer-Verlag (2009) London
- 36 James H. Harlow, Electric power transformer engineering, second edition
- 37 John Winders, Power transformers principles and applications
- 38 Janusz Turowski, Marek Turowski, Engineering electrodynamics electric machine, transformer, and power equipment design
- 39 Martin Heathcole, J & P Transformer Book, Thirteenth Edition
- 40 Purkait, Prithwiraj, Saha, Tapan Kumar, Transformer ageing monitoring and estimation techniques
- 41 William M. Flanagan, Handbook of transformer design and applications
- 42 Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah, Rajendra Ahuja, Transformer design principles - with Applications to core-form power transformers
- 43 USA Bureau of Reclamation, Testing solid insulation of electrical equipment, Vol. 3-1
- 44 USA Bureau of Reclamation, Testing and maintenance of high voltage bushings, Vol. 3-2
- 45 USA Bureau of Reclamation, Transformer maintenance, Vol. 3-30
- 46 USA Bureau of Reclamation, Transformer diagnostics, Vol. 3-31

47	S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, Transformer engineering – design, technology, and diagnostic, second edition
48	Brandon Dupuis, An introduction to electrical diagnostic testing of power transformers
49	Bruce Hembroff, Matz Ohlen, Peter Werelius, A guide to transformer winding resistance measurements – Application information
50	MEGGER, Transformer winding resistance measurement – Application note
51	MEGGER, Instruction manual for 2.5/5 kV megohmmeter test set Biddle catalog No. 210400
52	MEGGER, Instruction manual AVTM55JD for TTR transformer turn ration test set No. 550005 series
53	MEGGER, The complete guide to electrical insulation testing
54	MEGGER, Instruction manual for transformer ohmmeter DC winding resistance test set MTO210 Catalog No. MTO210
55	MEGGER, Instruction manual AVTMB30280 for transformer Ohmmeter Catalog No. 830280
56	MEGGER, Instruction manual AVTM672001 for DELTA-2000 10kV automated insulation test set Catalog No. 672001 Rev. B
57	MEGGER, 5kV 10kV 15kV insulation testing use of guard terminal – Application note
58	Matz Ohlen, Peter Werelius, A guide to transformer ratio measurements – Application note, MEGGER, 2010-01-18
59	EPRI, Power transformer maintenance and application guide -Final report, Sep. 2002
60	Jing Wang, Research and analysis based on transformer DC resistance measurement data – AIP conference proceedings 2066, 020040 (2019)
61	Kamran Dawood, Fatih Isik, Guven Komurgoz, Analysis and optimization of leakage impedance in a transformer with additional winding: A numerical and experimental study 2022
62	Jerry Janesch, Two-Wire vs. Four-Wire Resistance Measurements: Which Configuration Makes Sense for Your Application?
63	ELTEL Industries, Low voltage capacitance & tan delta testing, measurement method & application
64	Oleh W. Iwanzirv, ELTEL Industries, The art and science of measuring the winding resistance of power transformers.
65	Brandon Dupuis, A Systematic approach to analyzing exciting current measurements on power transformers – OMICRON
66	Brandon Dupuis, An introduction to electrical diagnostic testing of power transformers – IEEE 2016 ESMO Conference & Exposition Guide and Program – Sep. 2016

67	Alexander Herrera, Lukas Klingenschmid, Measurement of short-circuit impedance, leakage reactance and frequency response of stray losses on power transformers – Application note OMICRON
68	Bernard Hochart – Power Transformer Handbook–Butterworth–Heinemann (1987)
69	DOBLE, Doble test procedure 72A-2244 Rev. A
70	Gabriel Faria, Matheus Pereira, Gustavo Lopes, Jansen Villibor, Paulo Tavares, Ivan Faria, Evaluation of capacitance and dielectric dissipation factor of distribution transformers, Electrical Insulation Conference (EIC), San Antonio, TX, USA, 17-20 June 2018
71	CHAUMIN ARNOUX Group, Insulation resistance testing guide Ed.01 2010
72	Niclas Gronstrom, Optimal demagnetization of transformer after winding resistance measurements, KTH Royal institute of technology
73	A. P. Marques, C. H. B. Azevedo, J. A. L. dos santos, F. R. de C. Sousa, N. K. Moura, C. J. Ribeiro, Y. A. dias, A. Rodrigues, A. S. Rocha, Brito, Insulation resistance of power transformers – method for optimized analysis
74	A.L. Rockley, R. E. Clark, E.H. Povey, Field measurements of transformer excitation current as a diagnostic tool, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 4, April 1981
75	Martin Anglhuber, Dielectric analysis of high voltage power transformers – Application note, OMICRON
76	Florian Tschinn, Lukas Klingenschmid, Negative dissipation factor – Application note, OMICRON
77	Dept. of air force, Field guide for inspection, evaluation, and maintenance criteria for electrical transformers, 32-1282 Vol. 2 1999
78	Joong Chung Kim, The determination of transformer leakage reactance by using an impulse driving function
79	E. P. Dick, Transformer diagnostic testing by frequency response analysis, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 6, Nov/Dec 1987
80	Richenbacher, Alan Gregg, Low voltage impulse testing of power transformers
81	Raka, Budo Milovic, OLTC dynamic testing
82	Ahmed Abu-Siada, Power transformer condition monitoring and Diagnosis, IET
83	William Taylor, Transformer practice manufacture, assembling, connection, operation, and testing
84	ANSI/NETA MTS-2007, Standard for maintenance testing specifications for electrical power distribution equipment and systems
85	OMICRON, Testrano 600 user manual Version ENU11610508
86	Daniel Carreno, Dinesh Chajer, Transformer turn ratio test: some unknown facts

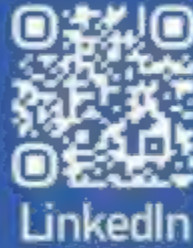
87	Daniel Carreno, Dinesh Chajer, Transformer winding resistance measurement: field challenges
88	Brandon Dupuis, Typical excitation current phase patterns, Technical paper
89	Brandon Dupuis, Typical excitation current tap-changer patterns, Technical paper
90	C. de Jesus Ribeiro, A. P. Marques, C. H. B. Azevedo, D. C. P. Souza, B. P. de Alvarenga, and R. G. Nogueira, "Faults and defects in power transformers – a case study", 2009 IEEE Electrical Insulation Conference, pp. 142–145, 2009
91	ANSI/NETA ATS-2009. Standard for Acceptance Testing Specifications for. Electrical Power Equipment and Systems
92	M. Horning, Transformer Maintenance Guide, second edition
93	Mohd Yousof, Frequency response analysis for transformer winding condition monitoring – University of Queensland
94	CIGRE, Mechanical condition assessment of transformer windings using frequency response analysis (FRA) 342
95	MEGGER, FRAX99/101/150 Sweep frequency response analyzer user manual No. AC033582FE 2020
96	MEGGER, TTRU3 True 3 phase transformer turns ratiometer user manual TTRU3-UG-EN-V01 2020
97	METREL, TeraOhmXA 10kV MI 3210 insulation tester instruction manual No. 20752185 VI.4.4

نبذة عن الكاتب

- محمد صبحي عساف من مواليد الكويت عام 1989
- درس هندسة الطاقة الكهربائية في جامعة البلقاء التطبيقية (بوليتكنك)
- يعمل حالياً كمهندس صيانة كهربائية في شركة العطارات لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الحرق المباشر للصخر الزيتي بإستطاعة توليدية كلية قرابة 554 ميجاوات منذ عام 2019
- عمل كمهندس صيانة كهربائية في شركة السمرا لتوليد الكهرباء بإستطاعة توليدية كلية قرابة 1241 ميجاوات (أكبر محطة توليد في الأردن) في الفترة ما بين 2012 إلى 2019
- عضو نقابة المهندسين الأردنيين (JEA)
- عضو معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)
- حاصل على شهادة إحترافية في الصيانة والموثوقية (CMRP) من معهد مُحترفي الصيانة والموثوقية (SMRP).
- حاصل على شهادة إحترافية كخبير مُعتمد في أنظمة الطاقة لحالات الطوارئ (CEPSS) من الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق (NFPA).
- حاصل على شهادة مُعتمدة في السلامة والصحة المهنية من إدارة السلامة والصحة المهنية الأمريكية (OSHA)، بالإضافة لمجموعة من الدورات التقنية داخل وخارج الأردن.
- المشاركة في فحوصات قصصية وموقعية لمجموعة من محولات القدرة مختلفة السعة.
- المشاركة في مؤتمر سيجري باريس (CIGRE) لعام (2018).
- المشاركة في مؤتمر سيجري عمان (CIGRE) لعام (2018) بورقة بحثية مُشتركة تناولت دراسة حول انفجار عازل إختراق 400 كيلو فولت (قائمة المصادر رقم [25])

م. محمد عساف

Mo7ammed.assaf1@gmail.com



LinkedIn

خبراء الصيانة الكهربائية



Facebook



LinkedIn

م. صالح البطاط



LinkedIn

(ردمك) 978-9923-00-566-8 ISBN